

Modell zur Berechnung des Risikos beim Verkauf gebrauchter Kraftfahrzeuge mit Garantie

Dieter Wohlfarth

1970

Modell zur Berechnung des Risikos beim Verkauf
gebrauchter Kraftfahrzeuge mit Garantie

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
einer Hohen Staatswirtschaftlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität
zu München

vorgelegt von

Dieter Wohlfarth

1970



Referent: Prof.Dr.E.M.Fels

Korreferent: Prof.Dr.F.Hanssmann

Tag der mündlichen Prüfung: 6.Juli 1970

Inhaltsverzeichnis

	<u>Seite</u>
Einleitung	1
1.0 Begriffliche Vororientierung	3
1.1 Abgrenzung des Garantieuumfangs	3
1.2 Zuverlässigkeitstheoretische Begriffsbildung	5
1.3 Der Begriff des Ausfalls	7
1.4 Der Begriff der Instandsetzung	8
2.0 Technische Systemzerlegung	10
3.0 Statistische Zuverlässigkeit	13
3.1 Arbeitsmethodische Grundlagen	13
3.2 Datenquellen	15
3.3 Ausfallverteilungen	17
3.4 Statistische Analyse mit Felddaten	22
3.41 Das Modell der kontrollierten Lebensdauertests	22
3.42 Das Felddaten-Modell	22
3.43 Verträglichkeit der beiden Modelle	25
3.5 Methode zur Schätzung der Zuverlässigkeitscharakteristika	25
3.6 Annäherung der Weibullverteilung durch eine reproduktive Verteilung	28
4.0 Instandsetzungskosten	30
4.1 Arbeitsmethodische Grundlagen	30
4.2 Das Kalkulationsschema	31
4.3 Durchführung der Kalkulation	32
5.0 Die Garantiefunktion	35
5.1 Die Garantiezeit	35
5.2 Herleitung der Garantiefunktion für Ursprungskomponenten	36
5.3 Herleitung der Garantiefunktion mit Ersatzkomponenten	37
6.0 Die Verkaufsfunktion	42
6.1 Einführung	42

	<u>Seite</u>
6.2 Die überregionale Verkaufsfunktion	43
6.21 Datenquellen	43
6.22 Prüfung der Homogenität des statistischen Materials	43
6.3 Die regionale Verkaufsfunktion	49
7.0 Das versicherungsmathematische Risiko	50
7.1 Einführung	50
7.2 Das Modell der kollektiven Risikotheorie	50
7.3 Die Schadenfallverteilung	51
7.31 Herleitung der Funktion	51
7.32 Bestimmung des Parameters P	54
7.4 Die Verteilungsfunktion des Gesamtschadens	57
7.41 Die Schadenverteilung im Teilbestand der i-ten Komponente	57
7.42 Die Schadenzahlverteilung im Gesamtbestand	58
7.43 Die Risikosummen im Gesamtbestand	59
7.44 Die Gesamtschadenverteilung	59
7.5 Die Risikoprämie	60
7.51 Die Verteilung der Risikoprämie	61
Zusammenfassung	63

Anhang

1.0 Auswahl der Komponenten	66
2.0 Datenquellen	66
3.0 Rechnungsgang	67
4.0 Komponente Motor	68
4.1 Das Felddaten-Modell	68
4.2 Schätzung der Zuverlässigkeitscharakteristika und Berechnung der Faltungen der Ausfallverteilung	71
4.3 Berechnung der Garantiefunktion	71
4.4 Berechnung der durchschnittlichen Ausfallwahrscheinlichkeit	72

	<u>Seite</u>
4.41 Überregionale Verkaufsfunktion	72
4.42 Regionale Verkaufsfunktion	72
5.0 Komponente Kupplung	73
5.1 Das Felddatenmodell	73
5.2 Schätzung der Zuverlässigkeits- charakteristika und Berechnung der Faltungen der Ausfallverteilung	75
5.3 Berechnung der Garantiefunktion	75
5.4 Berechnung der durchschnittlichen Ausfallwahrscheinlichkeit	76
5.41 Überregionale Verkaufsfunktion	76
5.42 Regionale Verkaufsfunktion	76
6.0 Die Verteilungsfunktion des Gesamt- schadens	77
6.1 Die Schadenzahlverteilung	77
6.2 Die durchschnittliche Schadensumme pro Ausfall	77
6.3 Die Risikoprämien	77
7.0 Diskussion der Ergebnisse des Rechen- beispiels	78
Literaturverzeichnis	82

Einleitung

Die Behandlung der Problematik einer Garantievergabe entspringt der Absicht, die Grundlagen für die Anwendung eines absatzpolitischen Instruments zu erweitern. Die Verwendung einer Garantiezusage auf die Funktionsfähigkeit technischer Produkte konzentriert sich ausschließlich auf die Hersteller. Sie gewähren auf die von ihnen erstellten "fabrikneuen" Güter eine nach Umfang und Frist festgelegte Garantieleistung. Mit den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung soll das absatzpolitische Instrument der Garantieleistung auf "gebrauchte" Güter erweitert werden, um es somit allen denjenigen Handelsbetrieben zugänglich zu machen, die technische Produkte zum Wiederverkauf anbieten.

Mit jeder Garantiezusage wird ein Risiko eingegangen. Der Produzent kann die Risikobelastung, die ihm durch seine Garantieleistungen entstehen aufgrund seiner Erfahrungen abschätzen, durch Qualitätsverbesserungen am Produkt verringern und durch einen entsprechenden, erhöhten Verkaufspreis absichern. Die Einführung einer Garantievergabe zur Erweiterung der Leistungssubstanz¹⁾ eines Handelsunternehmens ist mit einem ungleich größeren Risikoanstieg verbunden. Für einen Kfz-Händler, der mit gebrauchten Kraftfahrzeugen (Kfz) handelt, ist das Produkt eine Gegebenheit und einem Aufschlag auf den Verkaufspreis des Kfz sind durch Konkurrenz und Käuferwillen enge Grenzen gesetzt.

Es ist die primäre Zielsetzung der vorliegenden Arbeit, einen Weg aufzuzeigen, der es einem Handelsunternehmen ermöglicht, das Risiko zu quantifizieren, das eingegangen wird, wenn alle zum Verkauf kommenden Kfz gleichermaßen mit einer befristeten Garantieerklärung ausgestattet werden.

1) vgl. Nieschlag, R., Dichtl, E., Hörschgen, H., Einführung in die Lehre von der Absatzwirtschaft, Berlin 1968, S.90 ff.

In zweiter Linie soll anhand eines konkreten Beispiels eine Vorstellung von der Größe des eingegangenen Risikos gewonnen werden. Als Garantieobjekt wurde der VW 1200 (bzw. VW 1300 als Nachfolgemodell) gewählt. Dieser Kfz-Typ ist aufgrund seiner großen Verbreitung von unmittelbarem Interesse und seine Modellkonstanz erleichterte wesentlich die Datengewinnung.

Vom Markt mit technischen gebrauchten Produkten nimmt der Handel mit gebrauchten Kfz den größten Teil ein. Die derzeitige "Eintauschquote" von 10 : 7, d.h. auf 10 verkaufte Neuwagen entfallen 7 verkaufte Gebrauchtwagen, zeigt, welchen Umfang der Markt für gebrauchte Kfz erreicht hat. Mit der heute in den USA erreichten "Eintauschquote" von 10 : 15 als Zielprojektion für die kommenden Verhältnisse in der BRD wird deutlich, daß der Markt an Größe und Bedeutung noch stark zunehmen wird. Die Folge davon wird eine weitere Verschärfung des Wettbewerbs sein.

Den Unternehmen des Gebrauchtwagenmarktes wird mit der Möglichkeit der Garantiezusage auf ein Garantieobjekt ein weiterer Aktionsparameter im Instrumentarium der Marktgestaltung angeboten.

Die adäquate Arbeitsmethode wird durch die Natur des Forschungsgegenstands bestimmt. Die Berechnung eines Risikos fordert mathematische Methoden, und wenn dabei Wirtschaftstatsachen registriert werden, wird die mathematische Theorie durch aktuelle statistische Daten ersetzt, die den theoretischen Ergebnissen einen, wenn auch nicht allgemein gültigen, so doch fest umrissenen Wirklichkeitswert geben. Die Betrachtung eines technischen Produktes als Garantieobjekt erfordert naturgemäß technische Methoden und Denkweisen zur Abklärung seiner Gegebenheiten und Verhaltensweisen. Der Umfangsbereich der Theorie wird während der Entwicklung der Problemlösung laufend durch die Beobachtung des Garantieobjekts und durch Einführung vertretbarer Prämissen zu konzentrieren versucht.

1.0 Begriffliche Vororientierung

1.1 Abgrenzung des Garantieuumfangs

Die Abgrenzung des Garantieuumfangs ist auf zwei Gebieten vorzunehmen. Einmal am Kfz selbst, d.h. es ist festzulegen, welche Bestandteile des Kfz in die Garantieleistung aufgenommen werden sollen. Zum anderen bezieht sich die Abgrenzung des Garantieuumfangs auf die Laufleistung der Kfz. Sollen alle zum Verkauf angebotenen Fahrzeuge gleichermaßen garantiert werden oder nur solche, die bestimmte sog. garantiefreundliche Eigenschaften aufweisen?

Die Bestimmung des Garantieuumfangs erfolgt nicht in erster Linie aus einem technischen sondern aus einem absatzpolitischen Aspekt heraus. So hat die Festsetzung der Bestandteile, die in die Garantieleistung mit aufgenommen werden sollen, dem Wunsch und der Vorstellung des Käufers Rechnung zu tragen. Denn erst wenn der Käufer weiß, daß sein Kaufrisiko durch die gewährte Garantiezusage erwartungsgemäß verringert wird, ist er bereit, seine Kaufgewohnheiten zu ändern. In diesem Falle wird er seinen Gebrauchtwagen dort kaufen, wo ihm die gewünschte zusätzliche Sicherheit gewährt wird.

Das Ergebnis einer Meinungsumfrage¹⁾ eines deutschen Automobilherstellers aus dem Jahre 1967 zeigt folgendes Ergebnis:

1. Etwa 80% aller Befragten sehen in der Garantievergabe eine zusätzliche Sicherheit beim Kauf eines Gebrauchtwagens.

1) unveröffentlicht

2. Bei einer gewährten Garantiezeit von 2 Monaten oder 3000 km waren 60% der Befragten damit einverstanden, einen Aufpreis zu bezahlen.
3. 75% der Befragten waren der Ansicht, daß Motor, Getriebe, Vorderachse, Hinterachse, Bremsen, Lenkung und Kupplung in die Garantie aufgenommen werden sollten.

Für die Bestimmung des Garantieuumfangs ist der Punkt 3 der Umfrage interessant. Es entspricht dem Willen des Käufers, daß ihm eine umfassende Garantie eingeräumt wird. Der Käufer ist dann bereit, dafür sogar einen Aufpreis zu bezahlen (vgl. Punkt 2 der Umfrage). Mit einer teilweisen oder punktuellen Garantieleistung kann der gewünschte absatzfördernde Effekt auf lange Sicht nicht erzielt werden. Als Arbeitsgrundlage für die Risikoberechnung soll demzufolge von einem Garantieuumfang ausgegangen werden, der folgende Bestandteile (Funktionsblöcke) des Kfz umfaßt:

Motor, Hinterachse mit Getriebe, Vorderachse, Kupplung, Bremsen, Lenkung und elektrische Anlage.

Bei der Bestimmung des Garantieuumfangs bezüglich der Laufleistung der Kfz soll gleichermaßen vom Grundgedanken einer umfassenden Garantiezusage ausgegangen werden. Es wäre absatzpolitisch unklug, von vorne herein nur einen kleinen Teil der angebotenen Kfz mit Garantie anzubieten in der Meinung, damit dem Werbeversprechen "Verkauf Gebrauchtwagen mit Garantie" nachgekommen zu sein. Die derzeitige Situation der Gebrauchtwagengarantierung zeigt, daß, wenn überhaupt, nur die "idealen" Gebrauchtwagen für eine Garantie in Frage kommen. Ideale Gebrauchtwagen sind solche, die nur 2 - 3 Jahre alt sind, aus 1. Hand stammen und höchstens 50.000 km gefahren sind¹⁾. Eine Beschränkung der

1) o.V., Schlüsselproblem Gebrauchtwagen, Krafthand, H.22 (1968), S.1147.

Garantievergabe auf einen Teil des Gebrauchtwagenangebots gibt dem Käufer die Vorstellung von "guten" und "schlechten" Gebrauchtwagen. Er wird sich mit Recht fragen, warum der Händler gerade diesen oder jenen Wagen in die Garantie aufnimmt und andere Wagen ohne Garantie anbietet. Das Vertrauen, das der Käufer durch die Garantievergabe gegenüber dem Verkäufer gewinnen soll, wird dadurch wieder zerstört. Es ist deshalb von dem Gedanken auszugehen, alle zum Verkauf angebotenen Gebrauchtwagen mit der Garantieerklärung auszustatten.

Zeigt die Risikoberechnung jedoch, daß das Garantieren der Kfz ab einer bestimmten Altersgrenze oder ab einer bestimmten Laufleistung eine untragbare Belastung für den Verkäufer mit sich bringt, kann der Umfang nachträglich immer noch eingeschränkt werden. Jedenfalls hat aber die Berechnung des Risikos vom Gesamtangebot der Kfz auszugehen und es als Arbeitsgrundlage aufzunehmen.

1.2 Zuverlässigkeitstheoretische Begriffsbildung

Die Funktionsfähigkeit eines Kfz zu garantieren heißt, eine Garantie der Funktionsfähigkeit seiner Einzelteile zu übernehmen. Denn erst mit der Kenntnis der Verhaltensweise der Einzelteile bei Beanspruchung kann eine Aussage über das ganze System gemacht werden. In der Zuverlässigkeitstheorie wird unter einem System eine beliebige Einrichtung verstanden, die aus Teilen besteht, deren Einzelzuverlässigkeiten i.a. vorgegeben sind¹⁾. Es ist eine Grundaufgabe der Zuverlässigkeitstheorie, aus den Einzelzuverlässigkeiten eine Aussage

1) Gnedenko, B.W., Beljajew, J.K. und Solowjew, A.D., Mathematische Methoden der Zuverlässigkeitstheorie, Berlin 1968, Bd.1, S.112.

über die Zuverlässigkeit des ganzen Systems¹⁾ zu machen. Im vorliegenden Fall wird das System durch das Kfz repräsentiert. Die Einzelteile des Kfz werden als Komponenten bezeichnet. Den Komponenten werden die Einzelzuverlässigkeiten zugeordnet. Eine Komponente stellt die von der Instandsetzungstechnik festgelegte kleinste Instandsetzungseinheit dar. Komponenten werden nun entweder als Funktionselemente oder als Funktionseinheiten bezeichnet, je nach dem, ob bei der notwendigen Instandsetzungsaktion der den Ausfall verursachende Teil unmittelbar ersetzt werden kann, oder ob die Instandsetzung nur möglich ist über ein Auswechseln eines bestimmten Teileblocks, der das ausgefallene Teil beinhaltet. Die Notwendigkeit der Einführung der Funktionseinheiten als Komponentenart ist auf die moderne Instandsetzungstechnik zurückzuführen. Technische Objekte werden in zunehmender Weise so konstruiert, daß funktionswichtige Einheiten im bloßen Tausch ersetzt werden können. Das augenscheinlichste Beispiel am Kfz dafür ist der Motor, der nach einem Ausfall durch einen Tauschmotor ersetzt wird.

Funktionselemente sind statistisch voneinander unabhängig, d.h. sie fallen unabhängig voneinander aus. Sie haben nur einen oder mehrere qualitätsbestimmende Parameter. Funktionseinheiten sind dagegen aus vielen Teilen zusammengesetzt und haben infolgedessen eine weit größere Anzahl an qualitätsbestimmenden Parametern. Schließt eine Funktionseinheit ein oder mehrere Funktionselemente ein, so soll die dominierende Funktionseinheit als Aggregat definiert sein. Eingeschlossene Funktionselemente sind dann integrierende Bestandteile

1) A. Etzrodt definiert die Zuverlässigkeit eines technischen Systems als den Grad der Eignung, die vorhergesehenen Aufgaben unter bestimmten Betriebsbedingungen während einer bestimmten Zeitspanne zu erfüllen. (Etzrodt, A., Technische Zuverlässigkeit - ein Überblick, Technische Zuverlässigkeit in Einzeldarstellung, H.1 (1964), S.12).

des Aggregats und teilen infolgedessen sein Schicksal. Wird das Aggregat erneuert, werden alle darin eingeschlossenen Funktionselemente zwangsweise mit erneuert. Es kann festgehalten werden, daß zwar alle Funktionselemente statistisch voneinander unabhängig sind, daß aber Funktionselemente und Aggregate in einem Abhängigkeitsverhältnis stehen können, insofern sie Bestandteile eines Aggregats sind.

Im Sinne der Zuverlässigkeitstheorie ist es unbedeutend, ob ein System in Funktionseinheiten oder Funktionselemente aufgeteilt wird oder beide Komponentenarten gemischt auftreten, da der Unterschied nur graduell ist. Entscheidend ist lediglich, inwieweit jeder Komponente eine Grundausfallwahrscheinlichkeit in eindeutiger Weise zugeordnet werden kann. Damit ist ausgesagt, daß die Ausfallwahrscheinlichkeit ein technisches Datum sein muß, unabhängig von menschlichen Entscheidungen.

1.3 Der Begriff des Ausfalls

Nur bei genauer Kenntnis des Ausfallverhaltens über die gesamte Betriebszeit jeder einzelnen Komponente ist es möglich, die Funktionsfähigkeit eines Kfz zu garantieren. (Unter der Betriebszeit eines Kfz wird die Nutzungsdauer abzüglich der Stillstandszeit verstanden. Das Maß für die Betriebszeit ist die Lauf- oder Kilometerleistung). Als Ausfall bezeichnet man einen teilweisen oder vollständigen Verlust bzw. Veränderung gewisser Eigenschaften der Komponenten, wodurch ihre Arbeitsfähigkeit wesentlich nachläßt oder ganz verloren geht¹⁾. Der Ausfall einer Komponente ist in eindeutiger Weise erkennbar.

1) Gnedenko, B.W., u.a., a.a.O., Bd.1, S.64.

Ausfälle lassen sich auf zweierlei Ursache zurückführen:

1. Der Ausfall ist die Folge äußerer Einwirkungen, z.B. Unfall.
2. Der Ausfall erfolgt aufgrund des Versagens eines Bauteils.
 - 2.1 Das Versagen kann plötzlich auftreten durch
 - 2.11 unzulässig große Verformung,
 - 2.12 Bruch (Gewaltbruch),
 - 2.13 Elastische Instabilität (Knicken, Einbeulen),
 - 2.14 Dauerbruch durch Gleitzerrüttung.
 - 2.2 Das Versagen kann allmählich auftreten durch
 - 2.21 Verschleiß,
 - 2.22 Korrosion,
 - 2.23 sonstige chemische Schädigung des Werkstoffs.

Ausfälle im Sinne dieser Arbeit sind nur solche, die unter Punkt 2 der obigen Aufzählung fallen.

1.4 Der Begriff der Instandsetzung

1. Die Behebung der Schadensursache ist nur durch die Wiederherstellung der Funktionsfähigkeit des ausgefallenen Teiles selbst möglich. (Für das ausgefallene Teil existiert kein Ersatzteil).
2. Die Behebung der Schadensursache ist durch Auswechseln des ausgefallenen Teils möglich. (Das ausgefallene Teil wird durch ein identisches Ersatzteil ersetzt).
3. Die Behebung der Schadensursache ist nur durch den Austausch der Funktionseinheit möglich.

Der Reparaturbegriff umfaßt die Punkte 1 und 2 und stellt sich dar als das Funktionsfähigmachen des ausgefallenen Teils, verbunden mit dem Zerlegen und Wiederaufbauen des Teiles. Punkt 3 sieht das bloße Aus-

tauschen der Funktionseinheit vor. Die Einheit bleibt erhalten. Die endgültige Reparatur des ausgefallenen Teils übernimmt ein Dritter.

Beide Methoden, Reparatur und Tausch werden durch den Begriff der Instandsetzung umfaßt.

Als Instandsetzungsmethoden im Sinne dieser Arbeit kommen nur diejenigen der Punkte 2 und 3 in Frage. Die Methoden des Punktes 2 treffen für die Funktionselemente, die des Punktes 3 für die Funktionseinheiten zu. Punkt 1 entfällt, da diese Art der Instandsetzung nicht gewährleistet, daß das ausgefallene Teil durch die Reparatur seine ursprünglichen Eigenschaften wieder erhält. Diese Bedingung ist für einen Erneuerungsprozeß erforderlich¹⁾. Durch den Verzicht auf alle Instandsetzungsmethoden verliert das Modell jedoch kaum an Allgemeingültigkeit. Die Beschränkung ist insofern vertretbar als Reparaturen im Sinne des Punktes 1 nur noch vereinzelt und dann in Notfällen durchgeführt werden.

1) Gnedenko, B.W., u.a., a.a.O., Bd.1, S.89.

2.0 Technische Systemzerlegung

Die Erfordernisse der umfassenden Garantiegewährung ergaben einen breiten Katalog an Funktionsblöcken, die in die Garantieleistung mit eingeschlossen werden sollen. Es stellt sich nun die Aufgabe, die auf diese Weise festgelegten Blöcke so in Komponenten aufzuteilen, daß ihr Verhalten bei Beanspruchung vom Verhalten ihrer Komponenten repräsentiert wird. So repräsentiert u.a. ein Radlager die Zuverlässigkeit der Vorderachse. Ein Ausfall dieses Lagers registriert der Käufer als Ausfall der Vorderachse, und der Ausfall z.B. des Öldruckschalters wird dem Ereignis "Ausfall des Motors" gleichgesetzt. Es ist nun Aufgabe der weiteren Untersuchung, festzustellen, welche Elemente am Kfz überhaupt das Ausfallgeschehen bestimmen. Wo sind die Schwachstellen, die über die Zuverlässigkeit des Systems entscheiden?

Bei einem ersten Nachdenken über die Versagensmöglichkeiten eines Kfz, wird die Vermutung naheliegen, daß es eine Vielzahl von Versagensquellen am Kfz geben muß, da ein Kfz ein Konglomerat unterschiedlichster Werkstoffe darstellt und die Bauteile den unterschiedlichsten Beanspruchungen ausgesetzt sind. Löst man sich jedoch einmal in der Betrachtungsweise von den augenscheinlich ausgefallenen Teilen, wie z.B. Kraftstoffpumpe und Öldruckschalter und versucht dasjenige Element zu finden, das den Ausfall verursacht, so wird man feststellen, daß man immer wieder auf dieselben Grundelemente stößt, die Maschinenelemente. Im angeführten Beispiel fallen sowohl die Kraftstoffpumpe als auch der Öldruckschalter aufgrund des Versagens ein und desselben Maschinenelements Membran aus.

In der Hauptsache bestimmen folgende Maschinenelemente die funktionsmäßige Zuverlässigkeit eines Kfz: Lager, Membrane, Federn, Kupplungen, Seile und Dichtungselemente. Diese Maschinenelemente müssen nun in den einzelnen Funktionsblöcken aufgespürt und nach Instandsetzungs-

technischen Gesichtspunkten in Komponenten eingeteilt werden. Wenn im weiteren Text vom Ausfall einer Komponente die Rede ist, so ist damit der Instandsetzungstechnische Umfang beschrieben, den das ausgefallene Maschinenelement verursacht.

Vor der Durchführung der Zuordnung ist noch eine grundsätzliche Frage zu beantworten: Besteht überhaupt die Notwendigkeit, alle Maschinenelemente und die daraus abgeleiteten Komponenten zum Gegenstand weiterer Untersuchungen zu machen?

Es gibt Gründe, die eine Aufteilung rechtfertigt in solche Komponente, die der weiteren statistischen Analyse unterworfen werden sollen und solche, die herausgenommen werden können.

1. Die "Ausfallwahrscheinlichkeit" einer Komponente in der Garantiezeit ist bereits durch Sichtprüfung feststellbar.
2. Die "Ausfallwahrscheinlichkeit" in der Garantiezeit ist vernachlässigbar klein.
3. Die Instandsetzungskosten bei einem Ausfall sind vernachlässigbar.

Der statistischen Analyse werden also nur Komponenten unterworfen werden, deren Ausfälle nicht vorhergesehen werden können, relativ häufig auftreten, größere Instandsetzungskosten verursachen und in den Garantieumfang fallen.

Nachstehende Tabelle zeigt die für die Zuverlässigkeitsbeurteilung eines Kfz (Beispiel VW 1200) wesentlichen Komponenten, aufgeteilt nach den Funktionsblöcken.

Motor

Vergaser

Kraftstoffpumpe

Öldruckschalter

Dichtring für Kurbelwelle

Tauschmotor

Hinterachse
und Getriebe:

Radlager
Drehstäbe
Dichtring für Hinterradlager
Dichtring für Antriebswelle
Tauschhinterachse

Vorderachse:

Radlager, innen
Radlager, außen
Federstäbe
Dichtring für Vorderradlager

Kupplung:

Rückzugfeder für Kupplungsseil
Kupplungsseil
Tauschkupplung

Bremsen:

Radbremsszylinder, vorne
Radbremsszylinder, hinten
Bremsseile für Handbremse
Hauptbremsszylinder

Elektrische Anlage:

Scheibenwischermotor
Anlasser
Lichtmaschine

Lenkung:

Lenkgetriebe

Tab. 1 Komponenten des VW 1200, aufgeteilt nach Funktionsblöcken

3.0 Statistische Zuverlässigkeit

3.1 Arbeitsmethodische Grundlagen

Wie Beobachtungen zeigen, weichen die Lebensdauer des Kfz als ganzes, d.h. seine Verwendungsfähigkeit als Fortbewegungsmittel und die Lebensdauer seiner Komponenten wesentlich voneinander ab. Die Lebensdauer einer Komponente ist in der Regel kleiner als die des Kfz. Die ausgefallenen Komponenten erfahren zwangsläufig eine Erneuerung, um die verlorene Funktionsfähigkeit des Kfz wieder herzustellen. Von seiten einzelner Automobilhersteller sind Bestrebungen im Gange, die das Ziel haben, die unterschiedlich lange Lebensdauer der Komponenten einander anzugleichen, um ein einheitliches "Lebensdauerniveau" im System zu erreichen.

Mit der Erkenntnis, daß das Gesamtbild der Ausfallverteilung einer Komponente von dem Erneuerungseffekt mitgeprägt wird, und der Notwendigkeit, die Ausfallverteilung über den Gesamtbetriebsbereich des Kfz auszuweiten, ist für die Gewinnung geeigneter Ausfalldaten eine geeignete Methode zu suchen.

Prinzipiell sind zwei Wege gangbar. Einmal kann versucht werden, aus Daten, die das Ausfallgeschehen des gesamten Betriebsbereichs umfassen, eine Ausfallverteilung herzuleiten. Auf diese Weise wäre der Erneuerungseffekt und der noch abzuklärende Abhängigkeitseffekt mit berücksichtigt. Diese Methode ist jedoch kaum durchführbar, weil zu einer erfolgreichen Ausfallanalyse Daten zur Verfügung stehen müßten, die die ganze Betriebszeit des Kfz überdecken. Solche Daten stehen nur in sehr geringem Umfang zur Verfügung und sind gegebenenfalls unvollständig.

Der zweite Weg basiert zum Teil auf den Erkenntnissen der Erneuerungstheorie. Man geht aus von der Aus-

Das Ursprungsaggregat mit einem darin enthaltenen Ursprungsfunktionselement ist zum Zeitpunkt t_0 gegeben. Als erstes Ereignis kann das Funktionselement ausfallen (Punkt 1). Fällt zuerst das Aggregat aus, gilt Punkt 2 der Abb.1. Je nach dem nun als zweites Ereignis das Aggregat oder das Funktionselement ausfallen, folgen die Punkte 3 oder 4. Das Funktionselement kann infolgedessen auf zweierlei Arten erneuert werden; einmal durch den Ausfall der dominierenden Funktionseinheit und zum andern durch eigenen Ausfall. Tritt eine Erneuerung aufgrund des Ausfalls des Aggregats ein, so spricht man von einer vorzeitigen Erneuerung der Komponente. Damit wird eine Erweiterung des Erneuerungsbegriffes erforderlich, denn nach Definition des Erneuerungsprozesses ist eine Erneuerung nur bei Ausfall des Teiles selbst vorgesehen¹⁾. Die Erneuerung des Funktionselements durch Austausch des Aggregats tritt jedenfalls nur bei vollfunktionsfähigen Funktionselementen auf. Es wird auf diese Weise immer vor seinem eigenen Ausfall erneuert. Diese vorzeitige Erneuerung ist für die Risikoberechnung positiv zu bewerten.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, daß beide Erneuerungsarten im Hinblick auf die Risikoberechnung gleichgesetzt werden können, d.h., daß der Ausfall des Aggregats als Ausfall der Komponente selbst angesehen werden kann.

3.2 Datenquellen

Ausfalldaten von Kfz-Komponenten sind aus zweierlei Quellen erhältlich. Einmal als sogenannte Testdaten aus der Durchführung kontrollierter Zuverlässigkeitsprüfungen in Form von Labor- oder Prüffeldversuchen;

1) Gnedenko, B.W., u.a., a.a.O., Bd.1, S.89.

oder es werden Aufzeichnungen von Ausfällen der im Einsatz befindlichen Kfz herangezogen. Für die zweite Datenquelle findet man in der amerikanischen Literatur den Begriff der "fielddata", der in wörtlicher Übersetzung übernommen werden soll.

Auf der Suche nach geeigneten Datenlieferanten ist es naheliegend, sich an die Automobilhersteller selbst zu wenden. Doch sind letzten Endes weder die dort vorhandenen Testdaten noch die Felddaten als Grundlage für eine umfassende Ausfallverteilung verwendbar.

Die Testdaten stammen aus speziellen Zuverlässigkeitsprüfungen der Festigkeitslabors. Die Versuchsbedingungen werden in der Regel je nach Prüfzweck laufend geändert, so daß eine große Stichprobe nicht zur Verfügung steht. Großversuche scheitern an der Kostenfrage. Überdies erfolgen Laborversuche nicht unter den normalen Betriebsbedingungen.

Die Felddaten stützen sich auf die Gewährleistungs- und Kulanzverfahren der Hersteller. Die deutschen Automobilhersteller beschränken die Garantiezeit ihrer Kfz auf maximal 10.000 km. Das Ausfallgeschehen, das von dieser kurzen Zeitspanne erfaßt wird, läßt keine verlässliche Aussage über die Zuverlässigkeit eines Teiles über seine gesamte Nutzungsdauer zu, zumal die Ausfallhäufigkeit bereits kurz nach Beginn der Betriebszeit durch den Effekt der sogenannten Frühausfälle verfälscht wird. Es wird immer Einheiten geben, die versteckte Mängel aufweisen und bereits in der Einlaufperiode (burn-in period) ausfallen¹⁾. Unterlagen von Gewährleistungen sind als Datenquelle für Ausfalldaten als Grundlage für eine Ausfallverteilung ungeeignet.

1) Gnedenko, B.W., u.a., a.a.O., Bd.1, S.77.
Hausmann, W.H., Kamins, M., The Reliability of New
Automobil Parts, Annals of Reliability and Maintainability
vol.4 (1965), S.863 f.

Als weitere Datenquellen für Felddaten bieten sich die Aufzeichnungen von Wagenparkbesitzern und Autoreparaturbetrieben an. Großfirmen und staatliche Institutionen wie Post und Polizei registrieren laufend alle Reparatur- und Ausgabenbelege zur internen Kostenkontrolle und zur Überwachung und Berechnung des optimalen Fuhrparks¹⁾.

Wie die Auswertungen im Anhang zeigen, sind sowohl die Unterlagen der Wagenparkbesitzer als auch der Reparaturbetriebe als Datenquellen für Ausfalldaten geeignet. Erwartungsgemäß weisen auch diese Daten gewisse Mängel auf, die jedoch abschätzbar und durch besondere Sorgfalt auszumerzen sind. So wird die eine oder andere Instandsetzung einer Komponente bereits vor dem Ausfall vorgenommen werden, weil gerade ein Inspektionstermin fällig ist. Eine solche prophylaktische Instandsetzung wirkt auf die Zuverlässigkeitsaussage der Komponenten in der Weise, daß sie zuverlässiger erscheinen als sie in Wirklichkeit sind. Bei einer Risikobetrachtung liegt man jedenfalls auf der positiven Seite. Unfälle der Kfz und Fluktuation der Kundschaft sind durch geeignete Wahl des Datenmaterials und deren sorgfältiger Auswertung erkennbar.

3.3 Ausfallverteilungen

In den letzten Jahren erlangte die Verteilung

$$f(t) = \begin{cases} (b/a)t^{b-1} \exp(-(t/a)^b) & \text{für } t \geq 0 \\ 0 & \text{sonst,} \end{cases} \quad \text{Gl. (1)}$$

für $a, b > 0$

als sogenannte Weibullverteilung eine starke Verbreitung. Diese Verteilung wurde von dem Schweden Waloddi Weibull für die Analyse experimentell beobachteter

1) vgl. Burkert, G., Der technische Kraftfahrdienst bei der deutschen Bundespost, Goslar 1963.

Streuungen der Ermüdungsfestigkeit von Stahl benutzt¹⁾. Mit dem Beginn der Raumfahrt und der dabei notwendigen Entwicklung der Zuverlässigkeitstheorie nahm die Weibullverteilung als Ausfallverteilung technischer Komponenten besonders in der US-amerikanischen aber auch in der russischen Literatur eine zentrale Stellung ein²⁾.

Es läßt sich zeigen, daß sich bei Ausfällen technischer Einheiten durch Verschleiß eine Verteilung ergibt, die eine Weibullcharakteristik aufweist³⁾, ebenso wie sich die Weibullverteilung als Grenzverteilung für die Lebensdauer von Aggregaten ableiten läßt, die eine große Anzahl verschiedener Arten von Ausfällen aufweisen⁴⁾.

Erst in den letzten Jahren haben sich einige US-amerikanische Automobilhersteller die Analysetechniken für Zuverlässigkeitsuntersuchungen zunutze gemacht. Die für die Flugzeug- und Raumfahrtindustrie lebenswichtigen Zuverlässigkeitsberechnungen und -vorhersagen wurden nun auf den Automobilsektor übertragen. Die Verwendung der Erkenntnisse der Zuverlässigkeitstheorie bei den Automobilherstellern erfolgte jedoch sehr zaghaft. Das hat hauptsächlich zwei Gründe: Erstens

-
- 1) Weibull, W., A statistical theory of the strength of material, Ing. Vetenskaps Akad. Handl., 151 (1939), S.15 ff.
Weibull, W., A statistical distribution of wide applicability, Jour. Appl. Mech., 18 (1951), S.293 - 297.
Zitiert nach: Mann, N.R., Point and Interval Estimation Procedures for the Two-Parameter Weibull and Extreme-Value Distributions, Technometrics, vol.10, (1968), S.256.
 - 2) Diesbezüglich sei auf die umfangreichen Veröffentlichungen der amerikanischen Weltraumbehörde NASA verwiesen, die u.a. bei der Zentralstelle für Luftfahrtokumentation und -information (ZLDI) einzusehen sind. (ZLDI, 8 München 27, Maria Theresiastr.21).
 - 3) Kress, H., Untersuchungen zur Bestimmung der optimalen Organisation von Instandhaltungsarbeiten an Fertigungsmaschinen bei Werkstättenfertigung anhand eines Simulationsmodells, Diss., T.H.München, 1968, S.16 ff.
 - 4) Cox, D.R., Erneuerungstheorie, München, Wien 1966, S.117 f.

besteht die Auffassung, daß die Zuverlässigkeit von kritischen Teilen in größerem Umfang besser auf Prüfständen und wenn notwendig auf dem Prüffeld getestet werden kann. Der andere Grund, der besonders für die deutschen Automobilhersteller gilt, ist die Unkenntnis der Möglichkeiten, die die Anwendung der Zuverlässigkeitstheorie auch für den Automobilbau bietet.

Jedenfalls wurden die Analysetechniken, soweit sie von den US-amerikanischen Automobilherstellern übernommen wurden, in der Hauptsache nicht zur Klärung von Zuverlässigkeitsfragen in der Entwicklung eingesetzt, sondern für künftige Bedarfsermittlungen bereits in Serie gegangener Teile; zum anderen für die statistische Qualitätskontrolle und für Zuverlässigkeitsprognosen¹⁾.

In den bekannten Veröffentlichungen der amerikanischen Automobilhersteller, die sich mit dem Ausfallgeschehen von Automobilteilen befassen, findet die Weibullverteilung breite Anwendung.

So schreibt SIMPSON von der Ford Motor Comp.:

"Although a number of statistical methods are used, we have found the Weibull distribution to be the most useful mathematical model for broad application. A large portion of our educational and developmental effort is based on the use of Weibull distribution."²⁾

1) Vgl. Simpson B.H., The Ford Engineering Reliability Program, Annals of Reliability and Maintainability, vol.4 (1965), S.171-181.
Hausmann, W.H., Kamins, M., a.a.O., S.863 - 871.
Simpson, B.H., Reliability Prediction from Warranty Data, SAE-paper 660060. (Ein Artikel der Ford Motor Company).
Redmond, G.H. and Webster, F.M., Chrysler's 5 and 50 Warranty Program, SAE-paper 660059.
o.V., Total Car Warranty Prediction Method, SAE-paper 660061.

2) Simpson, B.H., Engineering, a.a.O., S.172.

TAYLOR and LOCHNER von General Motors:

"It is known that the type of unit under consideration wears out or improves with time, or if a unit is complex assembly of similar parts, the possibility of the Weibull distribution being the true underlying time to failure distribution should be considered."¹⁾

HAUSMANN und KAMINS begründen die Verwendung der Weibullverteilung wie folgt:

"The fortunate characteristics of the Weibull distribution were not the only reasons for its selection. The specific intent in the development of this distribution was represent faithfully certain physical processes which were known to exist. Thus the distribution has shown wide application in representing the reactions of materials to physical stresses."²⁾

Abschließend seien noch zwei bemerkenswerte Beiträge aufgeführt. Beide beschäftigen sich mit der Lebensdauer einer einzelnen Komponente am Kfz. Der erste Beitrag setzt sich mit dem Ausfallgeschehen von Wälzlagern auseinander. Er ist einer der wenigen veröffentlichten deutschen Beiträge auf dem Gebiet der Lebensdaueruntersuchungen. SCHREIBER stellt fest, daß die Ausfallverteilung der Wälzlager, also nach der Definition der vorliegenden Arbeit ein Funktionselement, gut durch eine Weibullverteilung angenähert werden kann³⁾.

Der zweite Beitrag, von General Motors, über Ausfallgesetzmäßigkeiten ist insofern bemerkenswert, als er die Darstellung der Lebensdauerverteilung eines Getrie-

-
- 1) Taylor, J.R., Lochner, R.H., Statistical Analysis of Failure Data, Annals of Reliability and Maintainability, vol. 4 (1965), S.908.
 - 2) Hausmann, W.H., Kamins, M., a.a.O., S.865.
 - 3) Schreiber, H.H., Zur mathematisch-statistischen Auswertung von Lebensdaueruntersuchungen mit Wälzlagern, Qualitätskontrolle, H.8 (1963), S.59-66, S.71-79.

bes zum Inhalt hat. Es wird gezeigt, daß auch Aggregate, also Funktionseinheiten, die eine Vielzahl an Ausfallmöglichkeiten besitzen, in der Tat nach dem Weibullgesetz ausfallen¹⁾.

Von den zahlreichen weiteren Ausfallverteilungen, wie sie etwa COX²⁾ aufführt, ist neben der logarithmischen Normalverteilung, die besonders von russischen Autoren bevorzugt wird, die Normalverteilung von Bedeutung. Trotz ihrer theoretisch mit der Darstellung einer Lebensdauerverteilung unvereinbaren Charakteristik findet sie aufgrund ihrer praktischen Handhabung Verwendung³⁾.

-
- 1) o.V., Reliability Evaluation of Transmission Gears, Allision research and engeneering, vol.12 (1966).
 - 2) Cox, D.R., a.a.O., S.20 ff.
 - 3) Ein unveröffentlichter Forschungsbericht der Volkswagenwerk AG setzt sich mit dem Problem - Normalverteilung oder Weibullverteilung - auseinander. (Müller, R., Gauß oder Weibull - zur Statistik der Wälzfestigkeit, Forschungsbericht 433, v. 12.6.1967).

Vgl. Davis, D.J., An Analysis of some Failure Data, American Statistical Association Journal, vol. 47 (1952), S.147-149.

Die äußerst interessanten Analysen von Motorenausfällen, die die Deutsche Bundespost im Posttechnischen Zentralamt in Darmstadt durchführt, sind in ihrem Umfang wohl einzigartig, da die Deutsche Bundespost der größte Kraftfahrzeughalter der BRD ist. Allen Ausfallverteilungen von Motoren wird dort eine Normalverteilung zugrunde gelegt.

3.4 Statistische Analyse mit Felddaten¹⁾

Die Analysetechniken für die Parameterschätzung der Ausfallverteilungen gehen im allgemeinen von Daten kontrollierter Zuverlässigkeitsprüfungen aus, d.h. es stehen Ausfalldaten zur Verfügung, die sich aus fest umrissenen Stichproben ergeben. Dabei wird entweder die Versuchszeit vorher genau fixiert, oder der Versuch wird abgebrochen, wenn eine bestimmte Anzahl Einheiten ausgefallen ist. Beide Variationen werden mit und ohne Erneuerungen durchgeführt.

Im vorliegenden Fall stehen für die Parameterschätzung keine Testdaten sondern Felddaten zur Verfügung. Deshalb ist es notwendig, das Felddatenmodell genau zu definieren und die Voraussetzungen zu prüfen, inwieweit es sich für eine Analyse eignet.

3.41 Das Modell eines kontrollierten Lebensdauertests

Ein kontrollierter Lebensdauertest liegt vor, wenn z.B. folgende Voraussetzungen gegeben sind:

1. N Einheiten werden bis zu einer vorher festgelegten Testzeit t getestet.
2. Von N Einheiten fallen während des Tests r Einheiten zu den bekannten Zeiten $f_1, f_2, f_3, \dots, f_r$ aus.
3. Alle getesteten Einheiten sind gleich.
4. Alle Ausfälle sind voneinander unabhängig.

3.42 Das Felddatenmodell

Das Datenmodell, das aus den Unterlagen von Wagenparkbesitzern und Autoreparaturbetrieben zur Verfügung steht, läßt sich bei der Betrachtung nur einer Komponente folgendermaßen darstellen:

1) vgl. Taylor, J.R. and Lochner, R.H., a.a.O., S.905-913.

N Einheiten dieser Komponente kommen zu verschiedenen Zeitpunkten zum Einsatz. Im Laufe der Betriebszeit weisen sie unterschiedliche Laufleistungen auf. Zu einem beliebigen Zeitpunkt, dem Beobachtungszeitpunkt, wird festgestellt, ob sich ein Ausfall ereignet hat oder nicht. Der Zeitpunkt des Ausfalls ist jedenfalls bekannt.

Die Betriebszeiten der N Einheiten, die begrenzt werden, einerseits von einem zufälligen Beginn und andererseits von einem zufälligen Ausfall oder vom Ende des Tests, erfahren eine Transformation in der Weise, daß alle Zeitpunkte der Inbetriebnahme zusammengelegt werden zu einem quasi gemeinsamen Startpunkt, dem Zeitpunkt t_0 .

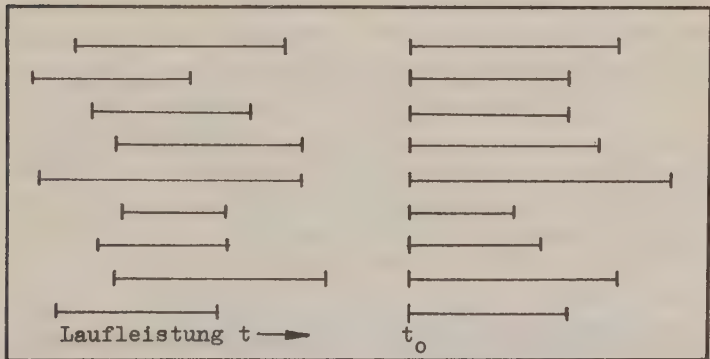


Abb.2 Transformation der Startpunkte

Durch diese Transformation wird erreicht, daß nun lediglich die Endpunkte der Betriebszeit in zufälliger Weise anfallen.

Der Zeitabschnitt zwischen dem Startpunkt t_0 und der längsten auftretenden Betriebszeit wird in äquidistante Zeitintervalle I_i ($i = 1, 2, \dots, m$) geeigneter Intervallbreite eingeteilt. Das Zeitintervall I_1 wird durch die

Zeitpunkte t_i ; t_{i+1} begrenzt. Alle Einheiten, deren Betriebszeit im selben Zeitintervall enden, werden zu einer Menge zusammengefaßt und stellen eine Stichprobe vom Umfang N_i dar, wenn N_i Einheiten in I_i enden. Die Testzeit dieser Einheiten beträgt dann t_i .

Nummer der Stichprobe	Testzeit	Stichprobenumfang	Anzahl der Ausfälle	Ausfallzeiten der ausgefallenen Einheiten
1	t_1	N_1	r_1	$f_{11}, f_{12}, \dots, f_{1j}, \dots, f_{1r}$
2	t_2	N_2	r_2	$f_{21}, f_{22}, \dots, f_{2j}, \dots, f_{2r}$
3	t_3	N_3	r_3	$f_{31}, f_{32}, \dots, f_{3j}, \dots, f_{3r}$
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
1	t_i	N_i	r_i	$f_{i1}, f_{i2}, \dots, f_{ij}, \dots, f_{ir}$
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
m	t_m	N_m	r_m	$f_{m1}, f_{m2}, \dots, f_{mj}, \dots, f_{mr}$

Tab. 2 Felddatenmodell

N_i Einheiten ($i = 1, 2, \dots, m$) sind bis t_i im Einsatz. N_i ist der Stichprobenumfang zum Zeitpunkt t_i . Die Zahl der Einheiten, die von der i -ten Stichprobe im Intervall I_i ausfallen ist r_i . Die Ausfälle ereignen sich zur Zeit $f_{i1}, f_{i2}, f_{i3}, \dots, f_{ir}$.

Ein Felddaten-Modell liegt vor, wenn folgende Kriterien gegeben sind:

1. Die Anzahl N der Einheiten ist unabhängig von Ausfällen.
2. Die beobachteten Ausfälle sind unabhängig von einander.
3. Alle N Einheiten sind von derselben Verteilung.
4. Die "Testzeit", d.h. der Beobachtungszeitpunkt wird unabhängig von irgendwelchen äußeren Ereignissen bestimmt.
5. Der Ausfallzeitpunkt jedes Ausfalls ist bekannt.
6. Alle Einheiten sind Ursprungseinheiten.
7. Alle beobachteten Ausfälle sind Erstaufälle.

3.43 Verträglichkeit der beiden Modelle

Die Bedingungen 1 und 4 des Felddatenmodells (FDM) schließen die Bedingung 1 des kontrollierten Lebensdauertestmodells (KLM) ein. Die Bedingung 5 des FDM entspricht der Bedingung 2 des KLM. Die Bedingungen 3, 4 und 7 des FDM schließen die Bedingung 3 des KLM ein, und die Bedingung 2 des FDM entspricht der Bedingung 4 des KLM.

Hiermit ist bewiesen, daß das FDM das KLM einschließt, d.h., daß die Analysetechniken für die Parameterschätzung eines KLM auch für ein FDM anwendbar sind.

3.5 Methode zur Schätzung der Zuverlässigkeitscharakteristika

Es gibt eine umfangreiche US-amerikanische Literatur über Methoden zur Gewinnung von Schätzwerten zuverlässigkeitsbestimmender Parameter auf der Basis der Weibullverteilung.

MANN hat in einer Zusammenschau einen umfassenden Überblick über die wichtigsten diesbezüglichen Veröffentlichungen gegeben. Gleicherorts werden die gängigen Schätzverfahren angeführt und miteinander ver-

glichen¹⁾.

Für die Parameterschätzung wurde ein Verfahren gewählt, das auf bequeme Weise die Weibullparameter für den zu erfüllenden Zweck mit ausreichender Genauigkeit liefert. Es ist die graphische Parameterschätzung mit Hilfe des Weibullnetzes.

Das Weibullnetz

Die Weibullfunktion folgt aus der Weibullverteilung der Gl.(1) mit

$$F(t) = 1 - \exp \left(- (t/a)^b \right) \quad \text{Gl.(1a)}$$

Wird mit $R(t)$ die Zuverlässigkeit²⁾ oder die Überlebensfunktion bezeichnet, so gilt

$$R(t) = 1 - F(t) = \exp \left(- (t/a)^b \right) \quad \text{Gl.(2)}$$

Logarithmiert, ergibt:

$$\ln (1/R(t)) = (t/a)^b$$

$$t = a (\ln (1/R(t)))^{1/b}$$

$$\lg t = \lg a + (1/b) \lg \ln (1/R(t))$$

Setzt man

$$z = \lg \ln (1/R(t)) \quad \text{Gl.(3)}$$

so folgt

$$z = b \lg t - b \lg a \quad \text{Gl.(4)}$$

Durch die Transformation der Ordinate nach Gleichung Gl.(3) und mit der Einführung eines logarithmischen Maßstabs auf der Abszisse stellt sich die Weibullfunktion in diesem Koordinatennetz als Gerade dar.

-
- 1) Mann, N.R., Point and Intervall Estimating Procedures for the Two-Parameter Weibull and Extrem-Value Distributions, Technometrics, vol.10 (1968), S.231-256.
 - 2) Die Zuverlässigkeit kann wie jede andere Wahrscheinlichkeitsgröße jeden Wert zwischen 0 und 1 annehmen. Sie gibt die Wahrscheinlichkeit an, daß eine Komponente bis zur Zeit t noch nicht ausgefallen ist.

Der in der Literatur als Weibullanstieg bezeichnete Parameter b ist durch die Steigung dieser Geraden gegeben. Der Skalenparameter a ergibt sich folgendermaßen:

für $t = 1$ folgt für z

$$z_1 = -b \lg a$$

$$\lg a = -(z_1/b)$$

Gl.(5)

Für $z = 0$ ergibt sich

$$z = \lg \ln (1/1 - F(t)) = 0$$

$$F(t) = 1 - 1/e = 0,632$$

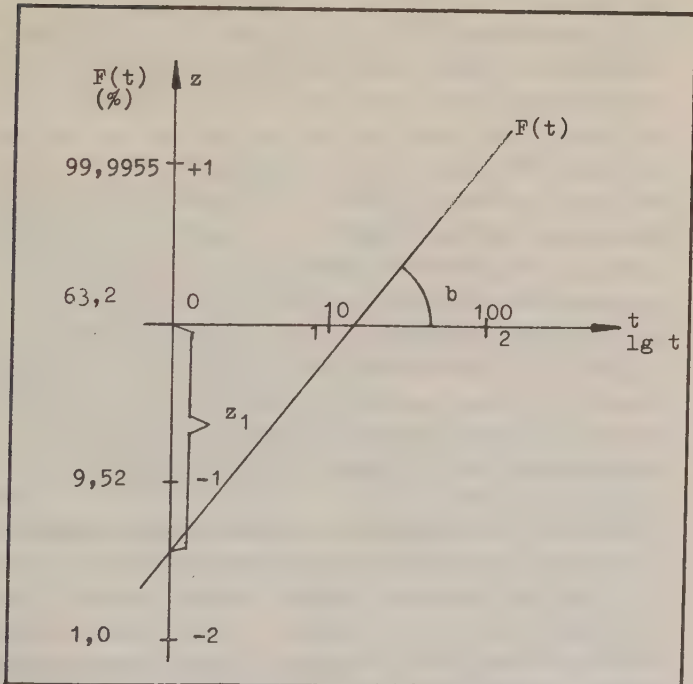


Abb.3 Das Weibullnetz

Zur Schätzung der Zuverlässigkeitscharakteristika muß die Weibullverteilung gezeichnet werden. Aus dem Stichprobenumfang N_i und der Anzahl der Ausfälle r_i der Tabelle 2 ist die relative Summenhäufigkeit $H_i = r_i/N_i$ zu berechnen. Wenn diese Werte bekannt sind, erfolgt durch Eintragung der Punkte (t_i, H_i) in das Weibullnetz die gesuchte Verteilung, wobei t_i die untere Grenze des Intervalls I_i darstellt. Die Punkte müssen annähernd auf einer Geraden liegen.

3.6 Annäherung der Weibullverteilung durch eine reproduktive Verteilung

Am Ende des Abschnittes 3.3 wurden unter Fußnote 3) Quellen angegeben, die der Ausfallverteilung von Motoren und Lagern eine Normalverteilung zugrunde legen. Davon sind besonders die Ergebnisse der Untersuchungen der Deutschen Bundespost von großem Wert und Gewicht. Die Deutsche Bundespost führt im Post-technischen Zentralamt Kartell über ihren gesamten Fuhrpark. Zur Bestimmung des optimalen Ausmusterungszeitpunkts der Kfz werden Ausfallverteilungen der Kfz-Motoren herangezogen. Die Annäherung der Ausfallverteilung an eine Normalverteilung zeigen dort gute Ergebnisse, so daß sich nun zwangsläufig die Frage stellt, ob der Lebensdauerverteilung technischer Objekte neben der Weibullverteilung genauso gut eine Normalverteilung zugrunde gelegt werden kann.

DUBEY¹⁾ stellt fest, daß die Weibullverteilung gut durch eine Normalverteilung angenähert werden kann, und zwar mit geringem Fehler solange der Weibullanstieg im Intervall $3,25 \leq b \leq 3,61$ liegt. Diese Tatsache kann zur Klärung der angeführten Frage beitragen. Tatsächlich fällt eine dem Verfasser bekannte

1) Dubey, S.O., Normal and Weibull Distributions, Naval Research Logistics Quarterly, H.1 (1967), S.69-79.

Motorenausfallverteilung aus den Untersuchungen der Deutschen Bundespost mit $b = 3,44$ in dieses Intervall. (Die bekannten Ausfallwerte wurden zur Bestimmung des Weibullparameters in ein Weibullnetz eingetragen). DUBEY gibt als maximalen Fehler der Annäherung im 3σ -Bereich an:

$$\sup_u |F_W(u) - F_N(u)| \leq 0,0105$$

wobei $F_W(u)$ die Funktionswerte einer standardisierten Weibullverteilung und $F_N(u)$ die Funktionswerte der Normalverteilung darstellen.

Wird aus den Werten, die DAVIS¹⁾ für Busmotorenausfälle angibt, der Parameter b bestimmt, so fällt er mit $b = 2,8$ zwar nicht in das von DUBEY angegebene Intervall. Trotzdem kann die Annäherung der Normalverteilung an die Weibullverteilung als gut bezeichnet werden.

Aus den beiden angeführten Beispielen kann jedenfalls der Schluß gezogen werden, daß sich unterschiedliche Annahmen, der einem Ausfallgeschehen zugrunde gelegten Ausfallverteilung, nicht immer widersprechen müssen. Der Grund für die Verwendung der Normalverteilung als Lebensdauerverteilung bei der einen oder anderen Quellenangabe mag aus einer Unkenntnis der Weibullverteilung heraus geschehen sein.

Die Untersuchungen von DUBEY haben jedoch das erklärte Ziel, die eine Verteilung durch die andere zu ersetzen. Diese Möglichkeit wird noch von Nutzen sein, wie sich in einem späteren Abschnitt zeigen wird.

1) Davis, D.J., a.a.O., S.149.

4.0 Instandsetzungskosten

4.1 Arbeitsmethodische Grundlagen

Mit der Definition der Komponente ist festgelegt, daß eine Störung des Systems, wenn sie als Ausfall bezeichnet werden kann, durch einen Ausfall einer Komponente verursacht wird. Der Ausfall einer Komponente zieht deren Instandsetzung nach sich, die entweder in Form eines Tausches einer Funktionseinheit oder durch das Auswechseln eines Funktionselementes vorgenommen wird. Die Instandsetzung erfolgt durch eine vollständige Erneuerung der Komponente. Jeder Ausfall der Einheiten einer Komponente zieht dieselbe Instandsetzungsaktion nach sich. Die Instandsetzungsaktion dieser Komponente verursacht Kosten von einer bestimmten, aber jeweils konstanten Höhe. Daraus folgt, daß ein beliebiger Ausfall einer Einheit einer bestimmten Komponente immer dieselben Instandsetzungskosten verursacht.

Es gilt nicht für alle Komponenten gleichermaßen die Beziehung, daß die Kosten, die durch den Ausfall eines Maschinenelements verursacht werden, mit den Instandsetzungskosten der betreffenden Komponente gleichzusetzen sind. Vielmehr kann der Ausfall eines Maschinenelements Auswirkungen haben, die über den Bereich der Komponente hinausgehen und als sogen. Folgeschäden zu bezeichnen sind. In der Hauptsache kommen hierfür die Dichtungselemente infrage. Beim Ausfall eines Dichtrings tritt als Folgeschaden die Verölung z.B. der Kupplung ein, wenn es sich um den Dichtring der Kurbelwelle handelt, oder der Verölung der Bremsbacken, wenn es sich um den Dichtring des Vorderradlagers handelt.

Die gesamten Instandsetzungskosten setzen sich dann im Falle eines Folgeschadens aus den Kosten der Instandsetzung der Komponente und den Kosten für die

in die Kalkulation eingehen. Die anteiligen Materialgemeinkosten sind aufgrund des geringen Teileumsatzes nur mäßig und deshalb zu vernachlässigen.

Der Lohnkostenanteil an den Instandsetzungskosten ist dagegen voll mit dem tatsächlich verrechneten Lohnstundensatz anzusetzen, wenn man davon ausgeht, daß der Reparaturbetrieb voll ausgelastet ist. Denn eine Lohnstunde, die der Instandsetzung eines Garantiefalls zugerechnet wird, ist für die anderen Instandsetzungsarbeiten verloren. Im verrechneten Lohnstundensatz sind die Lohngemeinkosten enthalten. Für die Lohnkostenkalkulation dieser Untersuchung ist ein Auslastungsgrad des Reparaturbetriebs von 90 % angenommen worden, so daß die verrechneten Lohnkosten entsprechend zu korrigieren sind.

Lohnkosten = 0,9 verrechnete Lohnkosten.

Es ergibt sich nun folgendes Kalkulationsschema für die Instandsetzungskosten eines Garantiefalls:
Nettomaterialkosten + 0,9 verr.Lohnkosten = Instandsetzungskosten.

4.3 Durchführung der Kalkulation

Für jede der in Tabelle 1 aufgeführten Komponenten wird eine Kalkulation ihrer Instandsetzungskosten nach dem oben angegebenen Kalkulationsschema durchgeführt. Es soll auf die Darstellung des detaillierten Rechnungsganges verzichtet werden, der über die Zusammenstellung des verwendeten Materials, der Materialkosten, der durchgeführten Arbeitspositionen und deren Preise führt. Alle benötigten Daten stammen aus Ersatzteile- und Arbeitspreiskatalogen des für diese Untersuchung gewählten Fabrikats. Für die Berechnung wurden die Preise des Monats Mai 1969 zugrundegelegt. Um die Instandsetzungskosten von den

Kostenverhältnissen eines bestimmten Datums zu lösen, wurden alle Kosten auf den zu diesem Zeitpunkt herrschenden verrechneten Lohnstundensatz bezogen. So ist es zu einem späteren Zeitpunkt möglich, mit diesem Instandsetzungskostenfaktor und dem geltenden Lohnstundensatz die effektiven Instandsetzungskosten wenigstens überschlagsmäßig zu ermitteln.

Funktionseinheiten

Tauschmotor	35,50
Vergaser	2,13
Tauschhinterachse mit Getriebe	22,90
Scheibenwischermotor	1,17
Anlasser	3,63
Lichtmaschine	4,34
Lenkgetriebe	3,12

Maschinenelemente

Seile:

Kupplungsseil	1,03
Handbremsseil	0,81

Federn:

Rückzugsfeder für Kupplung	0,55
Federstäbe	3,64
Drehstäbe	1,74

Membrane:

Öldruckschalter	0,34
Kraftstoffpumpe	1,00

Dichtungselemente:

Hauptbremszylinder	1,83
Dichtring für Kurbelwelle	3,36
Dichtring für Antriebswelle	3,21
Dichtring für Vorderradlager	1,45
Dichtring für Hinterradlager	1,72
Radbremszylinder, vorne	1,23
Radbremszylinder, hinten	1,03

Lager:

Radlager, außen, vorne	0,70
Radlager, vorne, innen	0,93
Radlager, hinten	1,15

Kupplung:

Tauschkupplung	2,82
----------------	------

Tab. 3 Instandsetzungskostenfaktor z_i für alle Komponenten, aufgeteilt nach Funktionseinheiten und Maschinenelementen.

5.0 Die Garantiefunktion

5.1 Die Garantiezeit

Grundsätzlich ist es jedem Kfz-Handelsbetrieb freigestellt, die Länge der Garantiezeit selbst festzulegen. Unter der Garantiezeit soll die Zeitspanne verstanden werden, in der der Verkäufer für alle in den Garantieuftang fallenden Ausfallschäden aufkommt. Ein Kfz-Betrieb wird sich als Wirtschaftssubjekt von dem Prinzip der Nutzenmaximierung leiten lassen und dementsprechend die Garantiezeit festlegen. Es wird versuchen, das Dilemma zwischen dem Sicherheitsbedürfnis des Käufers, ausgedrückt in der Forderung nach einer möglichst langen Garantiezeit, und der Tatsache der damit zwangsläufig verbundenen steigenden Kostenbelastung, optimal zu lösen. Der Kfz-Verkäufer wird die Garantiezeit so fixieren, daß er damit dem Käufer Anreiz genug bietet, bei ihm zu kaufen und er trotz anfallender Garantiekosten einen erhöhten Gesamtnutzen hat.

Zweifelloos wäre es von Interesse, ein Modell zu erstellen, das einem Verkäufer für seinen speziellen Fall, mit seinen Gegebenheiten, die optimale Garantiezeit liefert. Es wäre jedenfalls auch denkbar, von einer pauschalen Garantiezeit abzugehen und sie durch eine individuelle zu ersetzen, d.h. die Garantiezeit je nach Beschaffenheit und Zustand des Kfz abzustufen. Dieses Optimierungsproblem geht jedoch über den Rahmen dieser Arbeit hinaus.

Die augenblicklich in der Automobilbranche diskutierte und teilweise verwirklichte Garantievergabe auf Gebrauchtwagen ist die sogen. 2/3-Garantie. Der Verkäufer garantiert den verkauften Wagen über eine Zeitspanne von 2 Monaten oder über eine Fahrleistung von

3000 km¹⁾. Dieser Garantiebereich soll gleichfalls für diese Arbeit angenommen werden.

5.2 Herleitung der Garantiefunktion für Ursprungskomponenten

Die Kenntnis der Zuverlässigkeits- oder Überlebensfunktion stellt für die Risikoberechnung noch keine brauchbare Wahrscheinlichkeitsgröße dar. Es ist vielmehr eine Größe zu finden, die die Garantiezeit Δt explizit enthält und Auskunft darüber abgibt, mit welcher Wahrscheinlichkeit eine Komponente in der Garantiezeit ausfällt, wenn die Komponente bis zum Beginn der Garantiezeit ohne Ausfall gearbeitet hat. Diese Wahrscheinlichkeitsgröße als Funktion der Laufleistung, letzteres repräsentiert durch die Fahrzeit t , stellt die Garantiefunktion dar.

A sei das Ereignis, dass die Komponente bis zum Beginn der Garantiezeit t nicht ausfällt.

B sei das Ereignis, daß die Komponente im Zeitintervall $(t, t+\Delta t)$ nicht ausfällt.

Jetzt ist die Wahrscheinlichkeit, daß die Komponente, die bis t ohne Ausfall war, die Garantiezeit Δt überlebt, gleich der bedingten Wahrscheinlichkeit

$$\begin{aligned} p_A(B) &= \frac{p(AB)}{p(A)} = \frac{p(T < t, T > t + \Delta t / T > t)}{p(T > t)} \\ &= \frac{p(T > t + \Delta t)}{p(T > t)} = \frac{R(t + \Delta t)}{R(t)} \end{aligned}$$

Die gesuchte Garantiefunktion ergibt sich als Komplementärereignis zu

$$\begin{aligned} g(t) &= 1 - \frac{R(t + \Delta t)}{R(t)} = \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{R(t)} \\ &= \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{1 - F(t)} \end{aligned}$$

1) So stellt z.B. die Volkswagenwerk AG ihrer Organisation Garantiekarten zur Verfügung, die unter Punkt 1 der Gewährleistungsbedingungen von der 2/3-Garantie ausgehen.

Setzen wir $t_1 = t + \Delta t$, so folgt

$$g(t) = \frac{R(t) - R(t_1)}{R(t)} = \frac{F(t_1) - F(t)}{1 - F(t)} \quad \text{Gl.(6)}$$

Lassen wir t gegen Null gehen, so erhalten wir die in der Zuverlässigkeitstheorie bekannte Ausfallrate

$$c(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad \text{Gl.(7)}$$

$c(t)$ ist die Wahrscheinlichkeit dafür, daß die bis t nicht ausgefallene Komponente in der darauffolgenden Zeiteinheit ausfällt (natürlich, wenn diese Zeiteinheit klein ist). Wahrscheinlichkeitstheoretisch ist $c(t)$ die Dichte der bedingten Ausfallwahrscheinlichkeit im Moment t unter der Bedingung, daß die Komponente bis zu diesem Moment ausfallfrei arbeitete¹⁾.

5.3 Herleitung der Garantiefunktion mit Ersatzkomponenten

In Abschnitt 3.1 wurde auf eine Methode verwiesen, die mit Hilfe der Erneuerungstheorie aus der Ausfallverteilung der Ursprungskomponente die Gesamtausfallverteilung mit Erneuerungen berechnen läßt. Es ist nun notwendig, diese Methode darzustellen.

Eine Komponente habe die Lebensdauer T . T ist eine stetig verteilte Zufallsvariable mit der Wahrscheinlichkeitsdichte $f_0(t)$. Die Ursprungskomponente falle nach der Zeit t_1 aus. Sie wird nach dem Ausfall sofort²⁾ durch eine neue, identische³⁾ Komponente ersetzt.

1) vgl. Cox, D.R., a.a.O., S.14.

vgl. Gnedenko, B.W., u.a., a.a.O., Bd.1, S.75.

2) "Sofort" ist so zu verstehen, daß vor dem nächsten Einsatz des Systems die Komponente erneuert ist. Im vorliegenden Fall ist eine Inbetriebnahme des Kfz vor der Instandsetzung unmöglich, so daß die Voraussetzung "sofort" erfüllt ist. Die Instandsetzungszeit ist für die Betriebszeit des Kfz ohne Einfluß.

3) Es wurde unterstellt, daß die Ersatzteile zu den Ursprungsteilen identisch sind.

Diese Komponente falle nach der Zeit t_2 aus. Dann geschieht der zweite Ausfall nach der Zeit $t = t_1 + t_2$. Die Wahrscheinlichkeitsdichte des zweiten Ausfalls ist gegeben durch das Faltungsintegral

$$f_1(t) = \int_0^t f_0(t_1) f_0(t - t_1) dt_1 = f_0(t) * f_0(t) \quad \text{Gl. (8)}$$

Die Verteilungsfunktion der ersten Faltung ergibt sich dann zu

$$F_1(t) = \int_0^t f_1(t) dt,$$

wobei $F_1(t)$ die Wahrscheinlichkeit ist, daß nach der Erneuerung der Ursprungskomponente auch die Ersatzkomponente bis t ausgefallen ist, d.h. $F_1(t)$ ist die Wahrscheinlichkeit, daß die erste Erneuerung bis t ausgefallen ist.

Analog zur Garantiefunktion der ursprünglichen Komponente wird die Garantiefunktion nach einer Erneuerung definiert; $g_1(t)$ ist die Wahrscheinlichkeit, daß die neue Komponente in der Garantiezeit ausfällt, unter der Bedingung, daß entweder die Ursprungskomponente noch nicht ausgefallen ist oder daß die Ursprungskomponente bereits ausgefallen ist, nicht jedoch die neue Komponente. Also ist $g_1(t)$ die Wahrscheinlichkeit, daß die erste Erneuerung in der Garantiezeit ausfällt unter der Bedingung, daß sie bis zum Beginn der Garantiezeit noch nicht ausgefallen ist.

Es ist davon auszugehen, daß die Komponenten während der Betriebsdauer des Kfz einmal oder mehrmals erneuert werden können. Denn es ist Bedingung, daß ein Kfz nur in funktionsfähigem Zustand verkauft, d.h. in die Garantie aufgenommen wird. In der Garantiezeit ist somit jede Komponente einmal in funktionsfähigem Zustand vertreten. Von Interesse ist jetzt die Frage, welcher Komponententyp (Ursprungskomponente

oder Ersatzkomponente) zu einem Zeitpunkt t vorhanden ist. Es ist für eine Zuverlässigkeitsaussage von entscheidender Bedeutung, ob zum Zeitpunkt t gerade eine neue Komponente eingebaut worden ist oder ob noch die Ursprungskomponente vorliegt.

Nimmt man an, daß die Ursprungskomponente nur einmal erneuert werden soll, so ist nach den Wahrscheinlichkeiten gefragt, mit der zum Zeitpunkt t entweder die Ursprungskomponente oder die Ersatzkomponente vorliegt.

$F_0(t)$ ist die Wahrscheinlichkeit, daß die Ursprungskomponente bis zum Zeitpunkt t ausgefallen ist, d.h. $F_0(t)$ ist die Wahrscheinlichkeit, daß bei einer Erneuerung die Ersatzkomponente bis spätestens zum Zeitpunkt t im Einsatz sein muß. Das Komplementärereignis $R_0(t)$ gibt dann die Wahrscheinlichkeit an, daß die Ursprungskomponente bis t noch nicht ausgefallen ist, d.h. $R_0(t)$ ist die Wahrscheinlichkeit für das Antreffen der Ursprungskomponente.

$$R_0(t) = p_0 \qquad \text{Gl.(9)}$$

$F_1(t)$ ist bekanntermaßen die Wahrscheinlichkeit, daß die Ursprungskomponente und die Ersatzkomponente bis zum Zeitpunkt t ausgefallen sind. Das Komplementärereignis $R_1(t)$ gibt die Wahrscheinlichkeit an, daß entweder die Ursprungskomponente ausgefallen ist und die Ersatzkomponente noch nicht, oder aber die Ursprungskomponente ist noch nicht ausgefallen.

$R_1(t)$ ist die Wahrscheinlichkeit für das Antreffen entweder der Ursprungskomponente oder der Ersatzkomponente. Die Wahrscheinlichkeit für das Antreffen der Ersatzkomponente zum Zeitpunkt t ergibt sich demzufolge als Differenz zu

$$p_1 = R_1(t) - R_0(t) = F_0(t) - F_1(t). \qquad \text{Gl. (10)}$$

Analog gilt die Wahrscheinlichkeit für das Antreffen

der i-ten Komponente bei i Erneuerungen zur Zeit t

$$P_i = F_{i-1}(t) - F_i(t). \quad \text{Gl.(11)}$$

Die Gewichtung der Garantiefunktion der Ursprungskomponente und der Ersatzkomponente mit den Wahrscheinlichkeiten ihres Auftretens gibt die gesuchte endgültige Garantiefunktion

$$G(t) = g_0(t) \frac{P_0}{r} + g_1(t) \frac{P_1}{r} + g_2(t) \frac{P_2}{r} + \dots \quad \text{Gl.(12)}$$

wobei

$$r = P_0 + P_1 + P_2 + \dots \quad \text{Gl.(13)}$$

ist.

Aufgrund von Beobachtungen über das Verhältnis der Lebensdauer der einzelnen Komponenten zur Lebensdauer, d.h. zur Betriebszeit des Kfz, hat sich gezeigt, daß sich die Komponenten hinsichtlich dieses Verhältnisses und damit in der Anzahl ihrer Erneuerungen in zwei Gruppen unterteilen lassen. Die weitaus größte Zahl der Komponenten erfahren im Laufe der Betriebszeit des Kfz nur eine einmalige Erneuerung. Alle anderen Komponenten werden mehrmals erneuert.

Die Garantiefunktion für Komponenten mit nur einmaliger Erneuerung ist dann gegeben mit Gleichung Gl.(12)

$$G(t) = g_0(t) \frac{P_0}{r} + g_1(t) \frac{P_1}{r}.$$

Mit Gleichung Gl.(10) und Gleichung Gl.(13) folgt

$$G(t) = g_0(t) \frac{R_0(t)}{R_1(t)} + g_1(t) \frac{R_1(t) - R_0(t)}{R_1(t)}. \quad \text{Gl.(14)}$$

Bei Komponenten mit n-maliger Erneuerung ist die Garantiefunktion entsprechend aus Gleichung Gl.(12) abzuleiten. Es ergibt sich

$$\begin{aligned} r &= R_0(t) + R_1(t) - R_0(t) + R_2(t) - R_1(t) + \dots \\ &+ \dots + R_n(t) - R_{n-1}(t) \end{aligned}$$

$$r = R_n(t)$$

Für einen großen Bereich von t wird $R_n(t)$ annähernd Eins bleiben, so daß gilt

$$r \sim 1$$

Für die Garantiefunktion bei n -maliger Erneuerung folgt endlich

$$G(t) = g_0(t) R_0(t) + g_1(t) (R_1(t) - R(t)) + \dots$$

Gl.(15)

6.0 Die Verkaufsfunktion

6.1 Einführung

Einleitend wurde als Arbeitsgrundlage fixiert, alle zum Verkauf kommenden Kfz ungeachtet ihrer Laufleistung gleichermaßen zu garantieren. Das Abgehen vom individuellen Zustand der einzelnen Kfz als Kriterium für dessen Übernahme in die Garantie und das Zuwenden zu einer kollektiven Betrachtungsweise des Gesamtbestands, der in einer bestimmten Periode verkauften Menge, bedeutet den Verzicht, die Istzustände der Kfz zu Beginn der Garantiezeit als Datum in die Rechnung mit einzubeziehen. Denn es hat den Anschein, daß sich durch die Feststellung des Istzustands mittels geeigneter Prüfverfahren ein beträchtlicher Informationsgewinn für die Risikoabgrenzung erzielen ließe. Dagegen ist einzuwenden, daß nach der Definition als Komponente nur diejenigen Bestandteile des Kfz in Frage kommen, deren Istzustände und damit deren Zuverlässigkeiten weder durch Besichtigung noch durch eine einfache Prüfung festgestellt werden können. Alle anderen Teile des Kfz sind nicht Gegenstand dieser Arbeit.

Weiterhin ist über die instandsetzungsmäßige Vergangenheit eines Kfz i.a. nichts bekannt. Lediglich der Einbau eines Tauschmotors oder einer Tauschhinterachse werden dokumentarisch festgehalten. Die Verwertung dieser Information ist auch nur beschränkt möglich, da die Ausfallverteilungen beider Aggregate bekanntermaßen eine beträchtliche Streuung aufweisen.

Alle in einer Periode zum Verkauf kommenden Kfz sollen durch eine Verkaufsfunktion repräsentiert werden. Die Verkaufsfunktion wird dargestellt durch die Häufigkeitsverteilung der über der Laufleistung aufgetragenen Anzahl der verkauften Kfz einer vergangenen Periode.

Die Verwendung der Verkaufsfunktion als Grundlage für die Zusammensetzung eines künftigen Kfz-Bestands beinhaltet also die Prämisse, daß sich die Zusammensetzung der zum Verkauf kommenden Kfz über einen längeren Zeitraum nicht ändert. Es ist im konkreten Fall die Homogenität eines vorliegenden Bestands zu prüfen.

Die Verkaufsfunktion stellt neben der Kenntnis der Ausfallverteilungen der Komponenten und deren Instandsetzungskosten das dritte Fundament für die Risikoberechnung dar.

6.2 Die überregionale Verkaufsfunktion

6.21 Datenquellen

Freundlicherweise wurde von der Volkswagenwerk AG umfangreiches statistisches Material zur Verfügung gestellt, woraus eine Verkaufsfunktion ermittelt werden konnte. Zur Auswertung kamen Aufschreibungen von 14458 gebrauchter Kfz des Typs VW 1200/1300, die im Jahre 1968 in den Monaten Februar, Mai und Juli im Bundesgebiet verkauft wurden. Die Auswahl der Monate erfolgte in der Absicht, mögliche saisonale Schwankungen zu erfassen und aufzudecken. Die auf diesen Werten basierende Verkaufsfunktion wird infolgedessen als überregionale Verkaufsfunktion bezeichnet.

6.22 Prüfung der Homogenität des statistischen Materials

Das zur Verfügung stehende Material soll auf seine Homogenität geprüft werden, um eine Aussage darüber zu erhalten, inwieweit aus den Einzelverteilungen der Monate auf die Verteilung eines ganzen Jahres geschlossen werden kann. Es soll getestet werden, ob die Zusammensetzung der verkauften Kfz über eine Zeitspanne gleich bleibt, d.h. ob ein Schluß von einem bestehenden Bestand auf einen zukünftigen möglich ist.

Alle in einem Jahr verkauften Kfz repräsentieren die Grundgesamtheit aus der 6 Stichproben entnommen wurden. Die Stichproben setzen sich zusammen aus je zwei Typvarianten zu den angegebenen drei Monaten. Die Typvarianten sind einmal die Normalausführung und zum anderen die Ausführung mit Schiebedach des gleichen Kfz-Typs. (Tab. 4)

Normalausführung

Februar

I_j (km)	n_{1j}	h_{1j}	$m_1(t)$	$H_1(t)$
0 - 20.000	132	4,7	132	0,047
21.000 - 40.000	307	11,0	439	0,157
41.000 - 60.000	488	17,5	927	0,331
61.000 - 80.000	654	23,4	1581	0,565
81.000 - 100.000	591	21,1	2172	0,777
101.000 - 120.000	321	11,4	2493	0,892
121.000 - 140.000	175	6,25	2668	0,953
141.000 - 160.000	79	2,8	2747	0,982
161.000 - 180.000	39	1,4	2786	0,996
181.000 - 200.000	13	0,45	2799	1,000

Mai

I_j (km)	n_{3j}	h_{3j}	$m_3(t)$	$H_3(t)$
0 - 20.000	127	4,15	127	0,041
21.000 - 40.000	267	8,75	394	0,129
41.000 - 60.000	533	17,5	927	0,304
61.000 - 80.000	736	24,2	1663	0,547
81.000 - 100.000	652	21,4	2315	0,761
101.000 - 120.000	376	12,35	2791	0,918
121.000 - 140.000	212	7,0	2903	0,955
141.000 - 160.000	90	3,0	2993	0,984
161.000 - 180.000	30	1,0	3023	0,995
181.000 - 200.000	20	0,65	3043	1,000

Juli

I_j (km)	n_{5j}	h_{5j}	$m_5(t)$	$H_5(t)$
0 - 20.000	90	3,15	90	0,031
21.000 - 40.000	255	8,9	345	0,120
41.000 - 60.000	513	17,9	858	0,299
61.000 - 80.000	715	24,9	1573	0,558
81.000 - 100.000	631	22,0	2204	0,768
101.000 - 120.000	371	12,9	2575	0,897
121.000 - 140.000	178	6,2	2753	0,959
141.000 - 160.000	64	2,25	2817	0,971
161.000 - 180.000	26	0,9	2843	0,992
181.000 - 200.000	26	0,9	2869	1,000

Schiebedachvariante

Februar

I_j (km)	n_{2j}	h_{2j}	$m_2(t)$	$H_2(t)$
0 - 20.000	66	3,9	66	0,038
21.000 - 40.000	144	8,4	210	0,123
41.000 - 60.000	347	20,25	557	0,326
61.000 - 80.000	421	24,6	978	0,572
81.000 - 100.000	328	19,15	1306	0,763
101.000 - 120.000	202	11,8	1508	0,880
121.000 - 140.000	118	6,9	1626	0,949
141.000 - 160.000	59	3,4	1685	0,984
161.000 - 180.000	23	1,3	1708	0,997
181.000 - 200.000	5	0,3	1713	1,000

Mai

I_j (km)	n_{4j}	h_{4j}	$m_4(t)$	$H_4(t)$
0 - 20.000	55	2,7	55	0,027
21.000 - 40.000	169	8,35	224	0,111
41.000 - 60.000	345	16,9	569	0,281
61.000 - 80.000	532	26,0	1101	0,544
81.000 - 100.000	460	22,5	1561	0,772
101.000 - 120.000	240	11,75	1801	0,891
121.000 - 140.000	135	6,6	1936	0,957
141.000 - 160.000	54	2,6	1990	0,983
161.000 - 180.000	15	0,7	2005	0,992
181.000 - 200.000	19	0,9	2024	1,000

Juli

I_j (km)	n_{6j}	h_{6j}	$m_6(t)$	$H_6(t)$
0 - 20.000	60	3,0	60	0,029
21.000 - 40.000	172	8,5	232	0,116
41.000 - 60.000	325	16,2	557	0,277
61.000 - 80.000	514	25,6	1071	0,533
81.000 - 100.000	456	22,7	1527	0,760
101.000 - 120.000	244	12,1	1771	0,882
121.000 - 140.000	145	7,2	1916	0,954
141.000 - 160.000	53	2,65	1969	0,978
161.000 - 180.000	29	1,45	1998	0,994
181.000 - 200.000	12	0,6	2010	1,000

Tab. 4 Daten der verkauften Gebrauchtwagen in der BRD anhand von 6 Stichproben

- I_j = Fahrleistung in km
 n_{ij} = Anzahl der Werte, die innerhalb des Intervalls liegen
 h_{ij} = n_{ij}/n , relative Häufigkeit
 $m_1(t)$ = Anzahl der Werte, die kleiner oder höchstens gleich t sind.
 $H_1(t)$ = $m_1(t)/n$, relative Summenhäufigkeit

Es soll mit Hilfe des SMIRNOW-Tests die Hypothese geprüft werden, ob die Stichproben aus ein und derselben Grundgesamtheit entnommen wurden. Aufgrund der Gegebenheiten der Stichproben zerfällt der Test in drei Teile:

1. Test mit Hilfe zweier zufällig ausgewählter Stichproben der ersten Typvariante.
2. Test mit Hilfe zweier zufällig ausgewählter Stichproben der zweiten Typvariante.
3. Test mit Hilfe zweier zufällig ausgewählter Stichproben aus je einer Typvariante.

Die Hypothese lautet jeweils $H_0 : A_1(t) \equiv A_2(t)$, d.h. es wird angenommen, daß je zwei Stichprobenreihen aus derselben Grundgesamtheit stammen, mit einer Sicherheitswahrscheinlichkeit von P%.

Das Abweichungsmaß ist gegeben mit

$$d_{n,m} = \max |H_{i,n}(t) - H_{i,m}(t)|$$

wobei

$$H_{i,n}(t) = m_{i,n}(t)/n \text{ und } H_{i,m}(t) = m_{i,m}(t)/m \text{ ist}$$

und

$m_{i,n}(t)$ = Anzahl der Stichprobenwerte $t_1, t_2, \dots, t_n$,
die höchstens gleich t sind, und

$m_{i,m}(t)$ = Anzahl der Stichprobenwerte $t'_1, t'_2, \dots, t'_m$,
die höchstens gleich t sind.

Die Hypothese ist abzulehnen für den Fall, $n, m \geq 35$, falls

$$d_{n,m} > \sqrt{-(1/2) \ln((1/2) (1 - P/100))} \sqrt{(1/n) + (1/m)}$$

$$d_{n,m} > B$$

andernfalls ist H_0 nicht abzulehnen¹⁾.

Es wurden aus Tab. 4 zufällig ausgewählt für den ersten Teil des Tests die Werte der Monate Februar und Mai;

1) Heinhold, J., Gaede, K.W., Ingenieurstatistik, München, Wien 1964, S.281 ff.

für den zweiten Teil des Tests die Werte der Monate Mai und Juli und für den dritten Teil des Tests die Werte der Monate Mai und Februar.

Bei einer gewählten Sicherheitswahrscheinlichkeit von $P = 95\%$ ergibt sich

$$\sqrt{-0,5 \ln (0,5 (1 - 95/100))} = 1,359$$

Daraus folgt für die drei angegebenen Fälle mit den entsprechenden Werten für n und m aus Tab. 4:

	$d_{n,m}$	B
1.	$\max H_1(t) - H_3(t) = 0,0275$	0,0352
2.	$\max H_4(t) - H_6(t) = 0,0120$	0,0426
3.	$\max H_3(t) - H_2(t) = 0,0375$	0,0434

Tab. 5 SMIRNOW-Test

Für alle drei Fälle ist die Bedingung $d_{n,m} > B$ nicht erfüllt. Das bedeutet, daß die Hypothese $A_1(t) \equiv A_2(t)$ nicht abzulehnen ist.

Aufgrund der Eigenschaften eines Signifikanztests ist aus der Tatsache, daß die Hypothese nicht abgelehnt wird, nicht zu schließen, daß $A_1(t) \equiv A_2(t)$ unbedingt zutrifft. Trotzdem kann aus dem Testergebnis geschlossen werden, daß die Stichproben eine gute Schätzung für die Verteilungsfunktion der Grundgesamtheit darstellen. Dies gilt insbesondere, da sich der SMIRNOW-Test bekanntermaßen durch eine große Trennschärfe auszeichnet und somit durch die Sicherheitswahrscheinlichkeit von 95 % eine ausgezeichnete Übereinstimmung zweier Verteilungen gegeben ist.

Als Ergebnis des Tests kann festgehalten werden:

1. Die Homogenität der Verkaufsfunktion ist gegeben.

2. Es sind keine saisonalen Schwankungen in den Kaufgewohnheiten der Käufer festzustellen.
3. Beide Typvarianten zeigen dieselbe Verteilung.
4. Das Maximum der Verteilung ist übereinstimmend für alle Stichproben im Bereich zwischen 60.000 km bis 80.000 km gelegen.
5. 25% aller verkauften Kfz werden in dem unter Punkt 4. angegebenen Bereich gehandelt.

Das wesentlichste Ergebnis des SMIRNOW-Tests ist die Stabilität der Zusammensetzung der einzelnen Stichproben. Die Kaufgewohnheiten bleiben in der betrachteten Periode in erstaunlicher Weise konstant. Unterstellt man keinerlei Wechsel in den äußeren Umständen und Verhältnissen in der nächsten Periode, kann man die berechnete Verkaufsfunktion auch für die nächste Periode als gegeben ansehen und als Datum in die Risikoberechnung einsetzen.

6.3 Die regionale Verkaufsfunktion

Der zweite Teil der Abb. 4 zeigt die Häufigkeitsverteilung der verkauften Gebrauchtwagen eines Kfz-Handelsbetriebs im Raum Stuttgart. Im Gegensatz zur obigen Häufigkeitsverteilung der im ganzen Bundesgebiet verkauften Gebrauchtwagen handelt es sich hierbei um das Verkaufsgeschehen eines einzelnen Ortes. Naturgemäß ist die Anzahl der dort verkauften Gebrauchtwagen des Typs VW 1200/1300 mit 159 in etwa 6 Monaten ungleich geringer als die der letzten Stichproben. Unterstellt man gleichfalls für den Käuferkreis dieses Ortes eine Stabilität der Kaufgewohnheiten, so hat auch die auf der geringen Anzahl beruhenden Häufigkeitsverteilung eine gewisse Aussagekraft, nämlich, daß sie in Grenzen das Verkaufsgeschehen dieses speziellen Kfz-Handelsbetriebes für die nächste Zeitspanne wiedergibt.

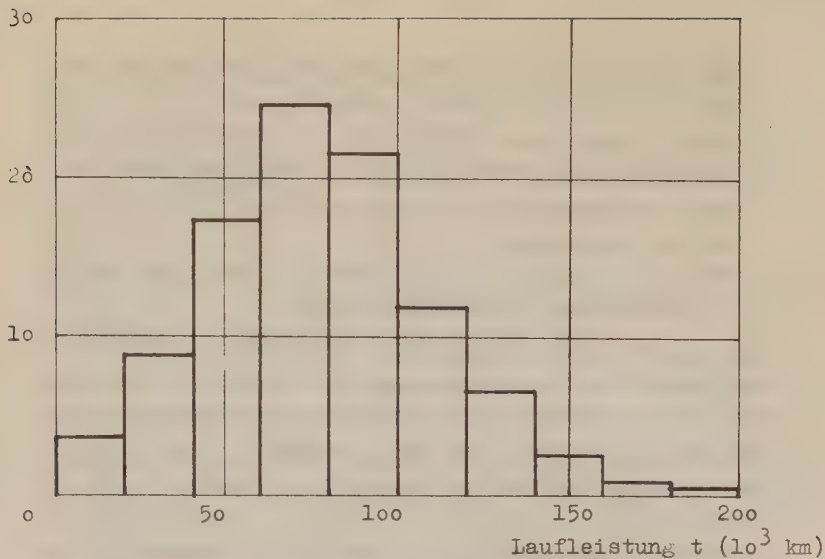
$$V\left(\begin{matrix} t \\ \cdot \end{matrix}\right)$$


Abb. 4 Häufigkeitsverteilung der in einer Periode verkauften Anzahl an gebrauchten Kfz im Bundesgebiet (überregionale Verkaufsfunktion).

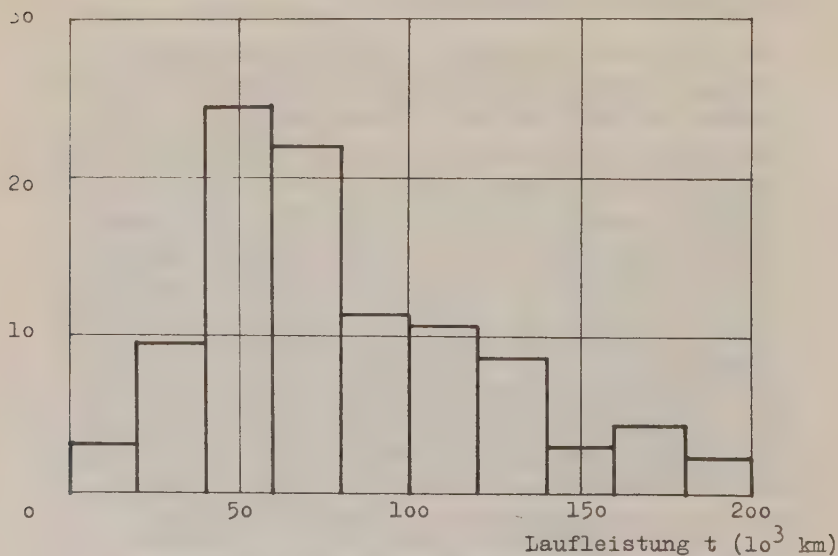
$$V\left(\begin{matrix} t \\ \cdot \end{matrix}\right)$$


Abb. 5 Häufigkeitsverteilung der in einer Periode verkauften Anzahl an gebrauchten Kfz in einem Teilgebiet (regionale Verkaufsfunktion).

7.0 Das versicherungsmathematische Risiko

7.1 Einführung

Die Übernahme einer Garantie ist für den Garantiegeber (Verkäufer) mit der Verpflichtung verbunden, alle im Rahmen des Garantieuumfangs niedergelegten Ausfallmöglichkeiten im Schadenfall zu tragen. Der Garantiegeber gibt dem Käufer eine Sicherheit. Er versichert das Kfz in der Garantiezeit. Das Auftreten von Ausfällen ist somit gleichbedeutend mit dem Eintreten von Versicherungsfällen. Der Kfz-Verkäufer wird zum Versicherungsgeber, der Käufer zum Versicherungsnehmer. Der Versicherungsgeber trägt ein Versicherungs- oder Ausfallrisiko. Es liegt nun im Interesse der Versicherungsgeber allgemein, ihre Risiken abzuschätzen, um sie damit in den Griff zu bekommen.

Mit der Darstellung der Garantievergabe als ein Versicherungsproblem kann mit Hilfe der im Rahmen der Versicherungsmathematik entwickelten Risikotheorie die Berechnung des Risikos vorgenommen werden. Es wird das Risiko berechnet, das ein Kfz-Händler eingeht, wenn er alle seine verkauften Gebrauchtwagen im vorgegebenen Garantieuumfang mit einer konstanten Garantiezeit garantiert.

7.2 Das Modell der kollektiven Risikotheorie

"In der elementaren Versicherungsmathematik geht man von der Annahme eines vollkommenen Risikoausgleichs aus, obschon der rechnermässige Verlauf des Risikogeschäftes stets von zufälligen Schwankungen gestört wird. Die Risikotheorie befasst sich demgegenüber mit den durch diese Schwankungen bewirkten Abweichungen vom rechnermässigen Schadenverlauf und den Gefahren, welche dem Versicherer aus diesen Abweichungen entstehen.

Innerhalb der Risikotheorie unterscheidet man zwischen einer individuellen und einer kollektiven Theorie. Die ältere, individuelle Theorie geht aus vom Risiko aller Einzelversicherungen eines Bestandes. Die moderne, von einigen nordischen Autoren (F. LUNDBERG, H. CRAMER, C.-O. SEGERDAHL) entwickelte kollektive Risikotheorie lässt die Einzelversicherungen des Bestandes ausser acht und benützt lediglich gewisse Durchschnittseigenschaften von Versicherungsbeständen."¹⁾

"Sie betrachtet nur den Gesamtbestand; denn tatsächlich ist es nicht von Bedeutung, ob der eintretende Geschäftsverlust aus dieser oder jener, aus einer oder mehreren Versicherungen stammt."²⁾

Die Anzahl der Schadenfälle, die in einem Versicherungsbestand während einer Beobachtungsperiode auftreten, wird in der kollektiven Risikotheorie nicht mehr wie in der elementaren Versicherungsmathematik als feste, à priori gegebene Größen angenommen, sondern als eine zufällige Variable, die einem Verteilungsgesetz folgt.

7.3 Die Schadenfallverteilung

7.31 Herleitung der Funktion

In einem Zeitraum zwischen 0 und T sollen N Kfz verkauft werden. Für alle N Kfz soll eine Garantiezusage gegeben werden. Die Garantiezeit beginnt jeweils mit der Übernahme des Kfz durch den Käufer nach dem Kaufabschluß und endet nach der Garantiezeit T. Jedes Kfz wird bezüglich seiner Zuverlässig-

1) Ammeter, H., Die Elemente der kollektiven Risikotheorie von festen und zufallsartig schwankenden Grundwahrscheinlichkeiten, Mitteilungen des Vereins Schweizer Versicherungsmathematiker, (MSV) 1949, S.35.

2) Wyss, H., Die Risikotheorie und ihre Bedeutung für die Versicherungsmathematik, Mitteilungen des Vereins Schweizer Versicherungsmathematiker, (VSM) 1953, S.33 f.

keit durch Komponenten repräsentiert, die nun ihrerseits durch ihr Ausfallverhalten das Risikogeschehen in der Garantiezeit bestimmen. In den folgenden Ausführungen soll zuerst nur das Risiko bei der Übernahme einer Komponente in die Garantie ermittelt werden.

Der betrachtete Zeitraum zwischen 0 und T wird mit einem Jahr angenommen und als Periode P bezeichnet. Mit einer angenommenen Garantiezeit von 2 Monaten wird offensichtlich, daß der in der Garantiezeit befindliche, d.h. unter Risiko stehende Kfz-Bestand einem kontinuierlichen Wechsel unterworfen ist. Verkauft ein Kfz-Handelsbetrieb z.B. täglich Gebrauchtwagen, so ändert sich die individuelle Zusammensetzung des Bestands ebenfalls täglich. Die Zugänge zum Bestand sind abhängig von den unterschiedlichsten Einflüssen, wie z.B. den Kaufgewohnheiten, Saisonschwankungen, Konjunkturlage, usw. Man muß deshalb davon ausgehen, daß der unter Risiko stehende Kfz-Bestand größenmäßig veränderlich ist, d.h. eine Funktion der Zeit ist.

In der Regel werden die Teilbestände der gleichzeitig unter Risiko stehenden Kfz eines Handelsbetriebs klein sein. Die unterschiedlichen Zugänge zum Bestand haben dann einen Einfluß auf seine individuelle Zusammensetzung. Wechselt die augenblickliche Zusammensetzung der Teilbestände, so ändert sich damit auch die durchschnittliche Ausfallwahrscheinlichkeit mit der Zeit.

Wird mit $B(t)$ die Anzahl der unter Risiko stehenden Kfz und mit $q(t)$ die durchschnittliche Ausfallwahrscheinlichkeit bezeichnet, so sind im Zeitelement t und $t + dt$

$$B(t) \quad q(t) \quad dt$$

$$Gl.(16)$$

Schadenfälle zu erwarten.

Im ganzen Zeitraum zwischen 0 und T sind es dann erwartungsgemäß

$$P = \int_0^T B(t) q(t) dt \quad \text{Gl. (17)}$$

Schadenfälle.

Während der Periode P werden sich von den N Einheiten der Komponente zu bestimmten Zeitpunkten Ausfälle ereignen. Die Anzahl der Ausfälle werde mit x bezeichnet. Die Größe x verändert sich nur ganzzahlig. Ein Prozeß dieser Art wird als Punktprozeß bezeichnet und wenn er folgende drei Kriterien erfüllt als Poissonscher Punktprozeß oder homogener Poissonscher Punktprozeß¹⁾.

1. Die Wahrscheinlichkeit eines Ausfalls im Intervall $(t; t + \Delta t)$ ist $x \Delta t + o \Delta t$. (Stationaritätsbedingung).
2. Das Auftreten von Ausfällen im Intervall $(t; t + \Delta t)$ ist unabhängig vom Verhalten des Prozesses vor der Zeit t. (Bedingung der Nachwirkungsfreiheit)
3. Die Wahrscheinlichkeit von mehr als einem Ausfall im Intervall $(t; t + \Delta t)$ ist von der Ordnung $o \Delta t$. (Ordinaritätsbedingungen)²⁾.

Das beschriebene Modell erfüllt lediglich die Ordinaritätsbedingung. Ein Poissonscher Punktprozeß ist nur dann gegeben, wenn die Ereignisse in zufälligen Momenten eintreten (z.B. Telefonanruf). Die zeitliche Veränderung der Bestandsgröße und der durchschnittlichen Ausfallwahrscheinlichkeit widersprechen dieser Voraussetzung und damit den Bedingungen der Punkte 1. und 2.

1) Vgl. Gnedenko, B.W., u.a., a.a.O., S.41.
Vgl. Bauer, H., Wahrscheinlichkeitstheorie und Grundzüge der Maßtheorie, Berlin 1968, S.328 f.

2) Vgl. Cox, D.R., a.a.O., S.39.

Betrachtet man zur Darstellung der Vorgänge in der Periode P nicht die Zeit als Variable, sondern wie LUNDBERG sie nennt, die Risikoelemente dP, so läßt sich zeigen, daß mit dieser Transformation die beiden fehlenden Bedingungen, die Bedingung der Stationarität und der Nachwirkungsfreiheit erfüllt sind.¹⁾

Ist der beschriebene Prozeß als ein Poissonscher Punktprozeß erkannt, so ist die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von genau x Ausfällen während der Periode P gegeben mit

$$f(x,P) = \frac{P^x e^{-P}}{x!} \quad \text{Gl. (18)}$$

Der Verlauf der Funktion B(t) q(t) während der Periode P ist also für die Dichte der Schadensfälle bedeutungslos. Alle Funktionen B(t) q(t), die gemäß Gleichung Gl. (17) zum gleichen Erwartungswert führen, ergeben dieselbe Wahrscheinlichkeitsverteilung.

"Die Frequenzfunktion der Schadensfälle ist durch die erwartungsmäßige Anzahl der Schadensfälle P vollständig bestimmt."²⁾

Die Kenntnis dieser Gesetzmäßigkeit erlaubt es, im voraus anzugeben, wie sich die Dichte der Schadensfälle bei der Variation des Erwartungswerts P verändert.

7.32 Bestimmung des Parameters P

Wie wir gesehen haben, ist die Verteilung der Anzahl der Schadensfälle einer Komponente mit Hilfe der Poissonverteilung zu beschreiben. Einziger Parameter dieser Verteilung ist die Größe P (Gl. (18)).

1) Vgl. Ammeter, H., a.a.O., S.44 ff.

2) Ammeter, H., a.a.O., S.47.

In der Praxis der Versicherungsmathematik wird P gewöhnlich empirisch durch eine Ausgleichung der Beobachtungen zahlreicher Perioden gewonnen. Wollte man dieses Verfahren auf den vorliegenden Fall übertragen, wären Aufzeichnungen über Ausfälle in einem der Garantiezeit entsprechenden Zeitraum von einem Kfz-Typ über viele Jahre hinweg notwendig. Hinzu kommt, daß der unter Risiko stehende Bestand immer gleich groß sein sollte. Aus der empirischen Häufigkeitsverteilung der beobachteten Ausfälle wäre dann der Mittelwert als Schätzwert für den Erwartungswert zu berechnen. Beide Forderungen sind regelmäßig nicht zu erfüllen. Da nun dieser Weg nicht gangbar ist, wird zur Ermittlung des Parameters P der Schadenszahl-dichte eine andere Methode entwickelt.

Ausgangselemente für die Berechnung des Parameters P bilden die beiden Funktionen, die Grantiefunktion und die Verkaufsfunktion. Die Grantiefunktion ist ein Kriterium für das Ausfallgeschehen einer Komponente in der Garantiezeit in Abhängigkeit von der Laufleistung der Kfz. Mit der Kenntnis der Verkaufsfunktion wird unterstellt, daß die Zusammensetzung der in der oder den nächsten Perioden zum Verkauf kommenden Kfz nach der Laufleistung bekannt ist. Jedes Kfz enthält definitionsgemäß jede Komponente nur einmal, so daß die Verkaufsfunktion der Kfz gleichermaßen die Häufigkeitsverteilung der in der nächsten Periode zu garantierenden Komponenten darstellt. Durch die Verkaufsfunktion ist bekannt, welche Zusammensetzung der Bestand der Komponente haben wird. Durch eine Gewichtung der Grantiefunktion mit der Verkaufsfunktion wird das allgemeine Ausfallgeschehen einer Komponente auf einen bestimmten Bestand, den Bestand, der durch die Verkaufsfunktion repräsentiert wird, bezogen. Die Ausfallwahrscheinlichkeit einer Komponente mit der Laufleistung t wird gewogen mit der Häufig-

keit ihres Auftretens im Bestand, d.h. der Verkaufsmenge der nächsten Periode.

Wenn mit $G(t)$ die Garantiefunktion und mit $V(t)$ die Verkaufsfunktion bezeichnet sind, folgt die Gewichtung daraus zu

$$q(t_i) = G(t) V(t_i) \quad \text{Gl.(19)}$$

wobei $V(t)$ sich als diskrete Verteilung mit den Werten t_i präsentiert ($i = 1, \dots, n$) und die

$$\sum_i V(t_i) = 1 \quad \text{ist.}$$

Die Funktion $q(t_i)$ ist die Häufigkeitsverteilung der Ausfallwahrscheinlichkeit einer Komponente in der Garantiezeit in Abhängigkeit von ihrer Laufleistung.

Mit der Gewichtung zweier Funktionen in der beschriebenen Weise ist eine Zuordnung zweier Datenmassen zueinander erfolgt. Es ist offensichtlich, daß $q(t_i)$ nur dann seine ihm zugeordnete Aussagekraft erfährt, wenn die Konformität der Datenerhebungsgebiete gegeben ist. Mit anderen Worten bedeutet das, daß $q(t_i)$ nur dann das Ausfallgeschehen eines bestimmten Kfz-Bestands aus einem bestimmten Verkaufsgebiet beschreiben kann, wenn sowohl die Verkaufsfunktion als auch die Garantiefunktion auf Daten basieren, die dem Verkaufs- bzw. Ausfallgeschehen derselben Region entstammen.

Der gesuchte Parameter P ist die erwartungsmäßige Anzahl der Schadenfälle einer Komponente in einer Periode. P ist abhängig von der Anzahl N der verkauften Kfz. Also ist P abhängig von der Länge der Periode P . Es gilt

$$P \sim N \quad \text{Gl.(20)}$$

Der Proportionalitätsfaktor $P/N = q$ ist die durchschnittliche Ausfallwahrscheinlichkeit in einer Periode. Der arithmetische Mittelwert der gewichteten Garantiefunktion kann als Schätzwert für die

Größe q herangezogen werden.

$$q = (1/n) \sum_i q(t_i) \quad \text{Gl. (21)}$$

Die Größe q ist die durchschnittliche Ausfallwahrscheinlichkeit einer Komponente in der Periode.

Der Parameter ergibt sich endlich zu

$$P = q N \quad \text{Gl. (20a)}$$

7.4 Die Verteilungsfunktion des Gesamtschadens

Nachdem die Verteilung der Schadenzahl und die Instandsetzungskosten der Komponenten bekannt sind, ist der nächste Schritt, beide Teile zu einer Gesamtschadenbelastung oder Verteilungsfunktion des Gesamtschadens zu vereinigen.

7.41 Die Schadenverteilung im Teilbestand der i -ten Komponente

Wenn ein Ausfall eintritt, ist für seine Instandsetzung ein bestimmter Betrag aufzubringen. Die Instandsetzungskosten entsprechen dem versicherungstechnischen Terminus der Schaden- oder Risikosumme. In einem Versicherungsbestand der Versicherungspraxis stehen im allgemeinen eine unterschiedliche Anzahl von Versicherungen mit nicht einheitlichen Risikosummen unter Risiko. Man spricht dann von einer Risikosummenverteilung eines Versicherungsbestands¹⁾.

Die "horizontale" Aufteilung des Kfz-Bestands in k Komponenten mit je N Einheiten entspricht k verschiedenen Versicherungsarten oder Risikoklassen mit je N Versicherungsnehmern. Die Instandsetzungskosten der k Komponenten sind uneinheitlich. Die Instandsetzungskosten aller Einheiten innerhalb einer Komponente hingegen sind konstant. Jede Risikoklasse hat folglich eine einheitliche Risikosumme.

1) Vgl. Ammeter, H., a.a.O., S.71 f.

In der kollektiven Risikotheorie hat die Risikosummenverteilung als Dichte der fälligen Risikosummen eine zentrale Bedeutung. Der Fall der einheitlichen Risikosummen ist als Spezialfall anzusehen, der die Herleitung des Gesamtschadens aus allen Risikoklassen wesentlich erleichtert.

"Im Spezialfall von einheitlichen Risikosummen ist die Verteilung des Gesamtschadens identisch mit der Verteilung der Schadenfälle."¹⁾

Diese Konsequenz ist leicht einzusehen.

Hätte man ein einzelnes Kfz als Versicherungsobjekt angesehen, so hätte diese "vertikale" Aufteilung des Bestands N Risikoklassen zur Folge gehabt, die dann jeweils eine identische Risikosummenverteilung aufgewiesen hätten.

Mit der Schadenzahlverteilung der Gleichung Gl.(18) und der bekannten konstanten Schadensumme z_i aus Tab. 3 folgt für die Schadenverteilung der i -ten Komponente

$$f(z, P) = \frac{P^{z/z_i}}{(z/z_i)!} e^{-P}, \quad \text{Gl.(22)}$$

wobei

$$z = x z_i \quad \text{ist, und } x = 1, 2, 3, \dots$$

7.42 Die Schadenzahlverteilung im Gesamtbestand

Die Schadenzahlverteilung ist für jede der k Versicherungsarten durch eine Poissonverteilung mit den Parametern P_i gegeben. Da die Ausfälle der Komponenten als unabhängige Zufallsgrößen anzusehen sind, ergibt sich für die Gesamtschadenverteilung aller k Komponenten aufgrund der reproduktiven Eigenschaft der Poissonverteilung wiederum eine Poissonverteilung

1) Ammeter, H., a.a.O., S.71.

mit dem Parameter

$$P_G = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_k.$$

Mit Gleichung Gl. (20a) folgt

$$P_G = Nq_1 + Nq_2 + Nq_3 + \dots + Nq_k$$

$$P_G = N \sum_{i=1}^k q_i \quad \text{Gl. (23)}$$

Die Schadenzahlverteilung aller k Komponenten ist nun

$$f(x, P_G) = \frac{P_G^x e^{-P_G}}{x!} \quad \text{Gl. (24)}$$

7.43 Die Risikosummen im Gesamtbestand

Der durchschnittliche Gesamtschaden pro Schadenfall ergibt sich aus den Instandsetzungskosten z_i aller k Komponenten aus Tab. 3 nach einer Gewichtung mit den Ausfallwahrscheinlichkeiten q_i .

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^k z_i q_i}{\sum_{i=1}^k q_i} \quad \text{Gl. (25)}$$

7.44 Die Gesamtschadenverteilung

Aus der Gesamtschadenzahlverteilung und der Gesamtrisikosumme folgt schließlich die Gesamtschadenverteilung

$$f(z, P_G) = \frac{P_G^{z/Z} e^{-P_G}}{(z/Z)!} \quad \text{Gl. (26)}$$

wobei $z = x Z$ ist, und $x = 1, 2, 3, \dots$.

Die Verteilungsfunktion des Gesamtschadens folgt endlich zu:

$$F(z, P_G) = \sum_{z=0}^z f(z, P_G) = \sum_{z=0}^z \frac{P_G^{z/Z} e^{-P_G}}{(z/Z)!} \quad \text{Gl. (26a)}$$

Die Verteilungsfunktion des Gesamtschadens kann als eine risikotheorietische Maßzahl herangezogen werden. So ist mit $F(z, P_G)$ die Wahrscheinlichkeit gegeben, daß die Belastung des Kfz-Händlers eine bestimmte Grenze nicht übersteigt. Das Komplementärereignis $1-F(z, P_G)$ stellt dann die Wahrscheinlichkeit dar, daß der Schaden eine bestimmte Grenze überschreitet. Damit ist das Risiko ausgedrückt, das der Kfz-Händler eingeht, wenn er alle zum Verkauf kommenden Gebraucht-
wagen gleichermaßen garantiert.

7.5. Die Risikoprämie

Der Kfz-Händler wird versuchen, entsprechend der Vorgehensweise der Versicherungsgesellschaften, die erwartungsmäßige Schadenssumme in Form von Risikoprämien von den Käufern seiner Kfz zu erhalten. Er wird den gesamten erforderlichen Betrag als Einmalprämie auf den Verkaufspreis der Kfz zuschlagen. Die Gesamtnettorisikoprämie ist dann gleich dem ersten Moment der Belastungsverteilung

$$\bar{z} = \sum_{z=0}^{\infty} z \cdot f(z, P_G) .$$

Unterstellt man ein Umlegeverfahren, das jedem Kfz, gleichgültig welchen Alters, dieselbe Prämie zuschlägt, so ergibt sich eine Nettorisikoprämie pro Kfz von der Größe

$$NPr = \frac{\bar{z}}{N} = \frac{P_G \cdot z}{N} = \frac{N \sum q_i}{N} \cdot \frac{\sum z_i q_i}{\sum q_i} = \sum z_i q_i . \text{ Gl. (27)}$$

Die Nettorisikoprämie ist unabhängig von der Bestandsgröße N .

Die auf dem Äquivalenzprinzip aufgebaute Prämie ist keine geeignete Grundlage für eine praktische Prämienberechnung, denn "es liesse sich sogar zeigen, dass ein Versicherungsträger, der sich genau an das Äqui-

valenzprinzip hielte, früher oder später zusammenbrechen müsste." ¹⁾ Es müssen zur Risikodeckung gewisse Sicherheitszuschläge in Rechnung gestellt werden. Soll das Risiko beispielsweise 1 % betragen, so ist der Betrag $S = z_{99\%} - z_{50\%}$ als Gesamtsicherheitszuschlag zusätzlich zu fordern.

Auf den Verkaufspreis jedes Kfz wird dann eine Risikoprämie $z_{99\%}/N$ zugerechnet werden, die bei der Risikoschranke von 1 % alle auftretenden Ausfälle auffängt. Die Bruttoreisikoprämie ist nun abhängig von der Bestandsgröße N . Mit steigender Bestandsgröße nimmt das Risiko ab. Darin zeigt sich die mit wachsendem Bestand fortgesetzt sich verbessernde Stabilität.

Die Berechnung des Gesamtschadens $z_{99\%}$ erfolgt über die Verteilungsfunktion der Gesamtschadenzahl. Es wird die Schadenzahl bei einer Sicherheitswahrscheinlichkeit von 99% berechnet und diese dann mit den durchschnittlichen Instandsetzungskosten pro Schadenfall Z multipliziert.

7.51 Die Verteilung der Risikoprämie

Die Prämie ist gleich dem Betrag, den der Käufer des Kfz zusätzlich zum Kaufpreis für die gewährte Garantieleistung aufbringen muß. Die Prämienbelastung sollte in einer Weise den einzelnen Kfz zugeordnet werden, die ihrer Ausfallanfälligkeit entspricht. Ein Wagen mit hoher Laufleistung sollte demnach mit einer höheren Prämie zu belasten sein als ein fast neuwertiges Kfz. Eine derartige Zuordnung wird jedoch absatzpolitisch kaum zu rechtfertigen sein. Der Käufer eines Kfz von hoher Laufleistung, d.h. von geringem Wert und deshalb von niedrigem Kaufpreis wird kaum mehr in der Lage sein, einen entsprechend hohen Prozent-

1) Wyss, H., a.a.O., S.26.

satz der Kaufsumme für die erforderliche Prämie aufzubringen. Es wird deutlich, daß die Zuordnung der Prämienhöhen zu den Kfz unterschiedlicher Laufleistungen als ein eigenes Optimierungsproblem anzusehen ist. Für die Risikoabschätzung ist die Kenntnis der durchschnittlichen Prämien ausreichend.

Zusammenfassung

Mit der Verteilungsfunktion des Gesamtschadens wurde die rechnungsmäßige Größe des Risikos gefunden, das ein Kfz-Handelsbetrieb eingeht, wenn alle zum Verkauf kommenden gebrauchten Kfz eines bestimmten Typs mit einer Garantiezusage für eine festgelegte Garantiezeit angeboten werden. Allein der Nachweis der marktgerechten Verwendungsfähigkeit der Garantiezusage als absatzpolitisches Instrument steht noch offen und ist anhand der Risikoberechnung eines konkreten Beispiels zu erbringen. Die Verwendungsfähigkeit wird von der Größe der veranlagten Einmalprämie bei einer vertretbaren Risikogrenze bestimmt. Die Berechnungen im Anhang sind dazu geeignet, die Tauglichkeit der Garantiezusage nachzuprüfen. Die gewährte Garantieleistung steigert die Leistungssubstanz des Kfz-Angebots. Dafür hat der Käufer den berechneten Aufpreis zu bezahlen, der seinerseits abhängt vom Sicherheitsbedürfnis des Verkäufers. Nimmt man die berechnete Bruttoprämie als Grundlage für eine Schätzung der durchschnittlichen Prämie pro Kfz bei einer Garantiezusage für den gewählten Kfz-Typ und den angegebenen Umfang, so ist, um einen konkreten Wert anzugeben, mit ca. DM 50.- pro Kfz, bei einer Sicherheitswahrscheinlichkeit von 99 %, zu rechnen. Ein Preisaufschlag dieser Größenordnung ist für den Käufer tragbar. Aber letztlich wird der Markt selbst über die marktgerechte Größe des Aufpreises befinden. Überdies muß der Kfz-Handelsbetrieb die Garantiezusage als ein absatzförderndes Mittel ansehen, das nicht direkt zur Nutzensteigerung zu führen braucht, sondern das erst über den Mehrverkauf an gebrauchten Kfz und damit verbunden ein Mehrverkauf an neuen Kfz, einen Gewinnanstieg nach sich zieht. So kann auch eine negative Bilanz aus den Größen Prämieeinnahmen einerseits und Garantieleistungen andererseits für das Unternehmen von Vorteil sein.

Grundlage und Vorbedingung für die Darstellung des Risikos sind die Homogenität der Verkaufsfunktion und die Gesetzmäßigkeit der Ausfallzeitpunkte der Komponenten, und zwar bei Anwendung eines Felddatenmodells.

Die Konstanz der Zusammensetzung der verkauften Kfz nach ihrer Laufleistung ist bemerkenswert und die Erkenntnis ist über die Verwendung in einem Risikomodell hinaus von Interesse und Bedeutung. Die Gesetzmäßigkeit des Ausfallverhaltens technischer Teile aufgrund von Verschleiß ist für die beiden im Anhang betrachteten Komponenten erfüllt. Eine Übereinstimmung mit der zugrundegelegten Weibullverteilung ist augenscheinlich. Man wird annehmen können, daß die Ausfallzeitpunkte aller angeführten Komponenten in ähnlicher eindeutiger Weise dem Weibullgesetz folgen werden, wenngleich auch diesen Datenanalysen Felddaten zugrundegelegt werden sollen. Die Verwendungsfähigkeit des Felddatenmodells als Grundlage für die Aufstellung von Ausfallverteilungen ist gezeigt worden.

Nach der Lösung grundlegender Bedingungen waren verfahrensmäßige Methoden zu klären. Um die Systemzuverlässigkeit des Kfz in den Griff zu bekommen, war eine technische Analyse erforderlich. Das Kfz wurde nach den Gesichtspunkten moderner Instandsetzungstechnik in Komponenten zerlegt, die dann ihrerseits der Zuverlässigkeitsanalyse unterzogen werden konnten.

Zur Kennzeichnung der Zuverlässigkeit wurde mit der Garantiefunktion ein Charakteristikum abgeleitet, das ein Kriterium für den Ausfall der Komponenten in der Garantiezeit darstellt. Der Effekt der Komponentenerneuerung wurde als wesentliche Kennzeichnung des Garantieobjekts mit berücksichtigt.

Die Zusammenfassung des Gesamtbestands aller verkauften Kfz zur Ableitung des Risikos erfolgte über die analoge Anwendung der im Rahmen der Versicherungsmathematik entwickelten kollektiven Risikotheorie auf ein betriebswirtschaftliches Problem. Die Deutung des Kfz-Verkäufers

als Versicherungsgeber und die Deutung des Kfz-Käufers als Versicherungsnehmer ließ die glückliche Erkenntnis der kollektiven Risikotheorie auf das behandelte Problem erfolgreich anwenden.

Die Verwendungsfähigkeit des Risikomodells auf andere technische Objekte ist grundsätzlich möglich. Das Garantieobjekt ist gegebenenfalls einer zuverlässigkeits- und erneuerungstheoretischen Systemanalyse zu unterziehen und die resultierenden Gegebenheiten sind dann in analoger Vorgehensweise zur Gesamtschadenverteilung zusammenzufügen.

Anhang

Beispiel zur Berechnung des Risikos

1.0 Auswahl der Komponenten

Anhand zweier Komponenten des betrachteten Wagentyps VW 1200 soll der Rechnungsgang bis zur Darstellung des Risikos gezeigt werden. Als repräsentante Komponenten wurden die Funktionseinheit Motor und das Funktionselement Kupplung ausgewählt. Beide Komponenten unterscheiden sich sowohl hinsichtlich der Anzahl der erwarteten Erneuerungsaktionen als auch hinsichtlich der Anzahl der verschiedenen Arten von Ausfällen. Der Motor erfährt in der Regel nur eine Erneuerung im Laufe der Betriebszeit des Kfz, während die Komponente Kupplung im selben Zeitraum mehrfach erneuert wird. Der Motor als ein Konglomerat verschiedener Maschinenelemente birgt eine Vielzahl von Ausfallarten in sich. Ein Ausfall der Kupplung ist dagegen auf eine einzige Ausfallursache beschränkt, nämlich auf den Verschleiß des Kupplungsbelags.

Vereinbarungsgemäß dienen als Grundlage der Berechnung die Ausfallverteilungen der Ursprungskomponenten. Es ist nun die Aufgabe, entsprechende Ausfalldaten aufzufinden.

2.0 Datenquellen

Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß als Datenquellen lediglich die Unterlagen von Fuhrparkbesitzern und Autoreparaturbetrieben in Frage kommen. Die in den folgenden Beispielen verwendeten Daten stammen größtenteils aus den Reparaturberichten der Landespolizei Nordwürttemberg und aus den Reparaturrechnungen zweier Fuhrparkinhaber in München. Ein kleiner Teil der Daten wurde der Kundenkartei eines Autoreparaturbetriebs aus dem Raum Stuttgart entnommen. Der Rückgriff auf 4 ver-

schiedenartige Quellen mag zeigen, daß es nicht einfach ist, eine genügend große Anzahl an Ausfalldaten der gewünschten Form aufzuspüren. Jedoch verhindert die Auswertung der Daten unterschiedlichster Quellen den Einfluß regionaler oder organisatorischer Eigenarten eines Kfz-Halters auf die Ergebnisse. Zur Auswertung kommen die Aufzeichnungen von 172 Motoren und 100 Kupplungen.

3.0 Rechnungsgang

1. Aufstellen des Felddatenmodells nach Tab. 2.
2. Berechnen der relativen Summenhäufigkeit H_i .
3. Eintragen der Werte (H_i ; t_i) in das Weibullnetz; einzeichnen einer Näherungsgeraden.
4. Berechnen des Weibullanstiegs b nach Gleichung Gl.(4).
5. Eintragen der Werte (H_i ; t_i) in das Normalnetz; einzeichnen einer Näherungsgeraden.
6. Entnahme der Schätzwerte für Erwartungswert und Streuung.
7. Berechnen der notwendigen Faltungen $F_n(t)$ (für $n = 1, 2, \dots$) und einzeichnen in das Normalnetz.
8. Entnahme der Werte ($F_{n,i}; t_i$). (Für $n = 0, 1, 2, 3, \dots$)
9. Entnahme der Werte ($F_{n,i}; t_{1,i}$), für $t_1 = t + \Delta t$. (Für $n = 0, 1, 2, 3, \dots$)
10. Berechnung der Garantiefunktion $G(t)$ nach Gleichung Gl.(12).
11. Berechnen der durchschnittlichen Ausfallwahrscheinlichkeit q der Komponenten in der Garantiezeit nach Gleichung Gl.(21).
12. Berechnen des Parameters P_G der Schadenanzahlverteilung im Gesamtbestand nach Gleichung Gl.(23).
13. Berechnen des durchschnittlichen Gesamtschadens Z nach Tab. 3 und Gleichung Gl.(25).
14. Berechnen der Verteilungsfunktion des Gesamtschadens $F(z, P_G)$ nach Gleichung Gl.(26a).

15. Berechnen der Nettorisikoprämie pro Kfz nach den Gleichungen Gl.(26a) oder Gl.(27). Berechnen der Bruttoisikoprämie und des Sicherheitszuschlags pro Kfz nach Gleichung Gl.(26a) aus $1 - F(z, P_G)$.

4.0 Komponente Motor

Mit der Funktionseinheit Motor ist diejenige Komponente gewählt worden, auf die sich das Hauptinteresse des Käufers beim Kauf eines Kfz konzentriert. Infolgedessen werden die Informationen über Laufleistung und Ausfall eines Motors besonders exakt erfaßt und im allgemeinen dokumentarisch festgelegt. Ein Ausfall des Motors im Sinne dieser Untersuchung hat sich dann ereignet, wenn der Ursprungsmotor durch einen Tauschmotor ersetzt wurde. Der Zeitpunkt des Ereignisses "Einbau eines Tauschmotors", aufgeführt in den Reparaturunterlagen, wird als Zeitpunkt des Ausfalls des Ursprungsmotors gewertet.

4.1 Das Felddatenmodell

Die Auswertung der Ausfalldaten ergab folgende Variationsreihe der Beobachtungsergebnisse.

Laufleistungen der ausgefallenen Motoren (in 1000 km):

39

48, 42, 50, 45

51, 58, 57

61, 70, 70, 56, 69

74, 75, 80, 79, 79

81, 89, 90, 82, 90, 87, 87, 89, 82

94, 100, 94, 98, 98, 99, 98, 97, 95, 97, 98, 93, 99,
95, 100, 100, 95, 94, 96

101, 103, 104, 102, 101, 108, 110, 109, 101, 102, 106,
108, 103, 105, 102, 109, 108, 108, 105

112, 111, 116, 117, 119, 116, 120, 115, 111, 116

124, 128, 122, 128, 128, 124, 124, 130
 131, 136, 133, 140, 133, 140, 139
 144, 149
 151, 154, 153, 159
 163
 176

Tab. A 1

Laufleistungen der zum Beobachtungszeitpunkt nicht
 ausgefallenen Motoren (in 1000 km):

42
 53, 57, 51, 56
 66, 68, 64, 64
 73, 77, 79, 78, 77
 82, 86, 84, 87, 88, 86, 82, 86, 87, 88, 85, 88
 95, 100, 95, 95, 97, 98, 98, 99, 96, 95, 97, 100, 99
 101, 102, 110, 104, 104, 105, 107, 110, 103, 106, 110,
 110, 107, 118, 119, 114, 115, 114, 115, 119, 113, 116
 123, 128, 124, 121, 125
 131, 137, 136, 131, 139
 142,
 160
 165

Tab. A 2

Nummer der i-ten Stichprobe	1	2	3	4	5	6	7
Testzeit t_i (Lauf- leistg. in 10^3 km)	40	50	60	70	80	90	100
Stichproben- umfang N_i	172	170	165	163	158	146	133
Anzahl der Aus- fälle r_i	1	5	8	13	18	27	47
Rel. Summenhäu- figkeit $H_i(\%)$	0,58	2,2	4,82	7,97	11,4	18,5	35,3

Fortsetzung der Tab. A 3

8	9	10	11	12	13	14	15
110	120	130	140	150	160	170	180
120	111	106	101	100	99	98	98
65	75	83	90	92	96	97	98
54,2	67,6	78,4	89,0	92,0	96,8	99,0	100

Tab. A 3 Berechnung der relativen Summenhäufigkeit der Ausfälle der Komponente Motor

Nach Gleichung Gl.(4) ist der Weibullanstieg b aus der Steigung der Näherungsgeraden im Weibullnetz zu berechnen. Die Werte für z und $\lg t$ werden aus der Abb. A 1 entnommen. Nach einer maßstabsbedingten Umrechnung ergeben sich die Werte für $z = 2$ und $\lg t = 0,422$. Daraus folgt für $b = 4,73$.

In Abschnitt 3.6 wurde der von DUBEY festgestellte Bereich für b ($3,25 \leq b \leq 3,61$) angegeben, der mit nur geringem Fehler eine Weibullverteilung durch eine Normalverteilung annähert. Der oben berechnete Wert für b liegt nicht in diesem Bereich. Trotzdem zeigen die in ein Normalnetz eingetragenen Werte ($H_i; t_i$) eine ähnlich gute Annäherung an eine Gerade wie derselbe Wert im Weibullnetz. Die Weibullverteilung soll deshalb durch eine Normalverteilung ersetzt werden und die Näherungsgerade im Normalnetz soll die Grundlage für die Zuverlässigkeitswerte der weiteren Berechnung bilden. Der Übergang auf die Normalverteilung bringt, wie bereits angedeutet, den Vorteil, daß die Lösung des Faltungsintegrals auf der Grundlage der Normalverteilung explizit durchführbar ist, wohingegen die Faltungen der Weibullverteilung nur näherungsweise lösbar sind.

F_i

($\cdot$)

99,9

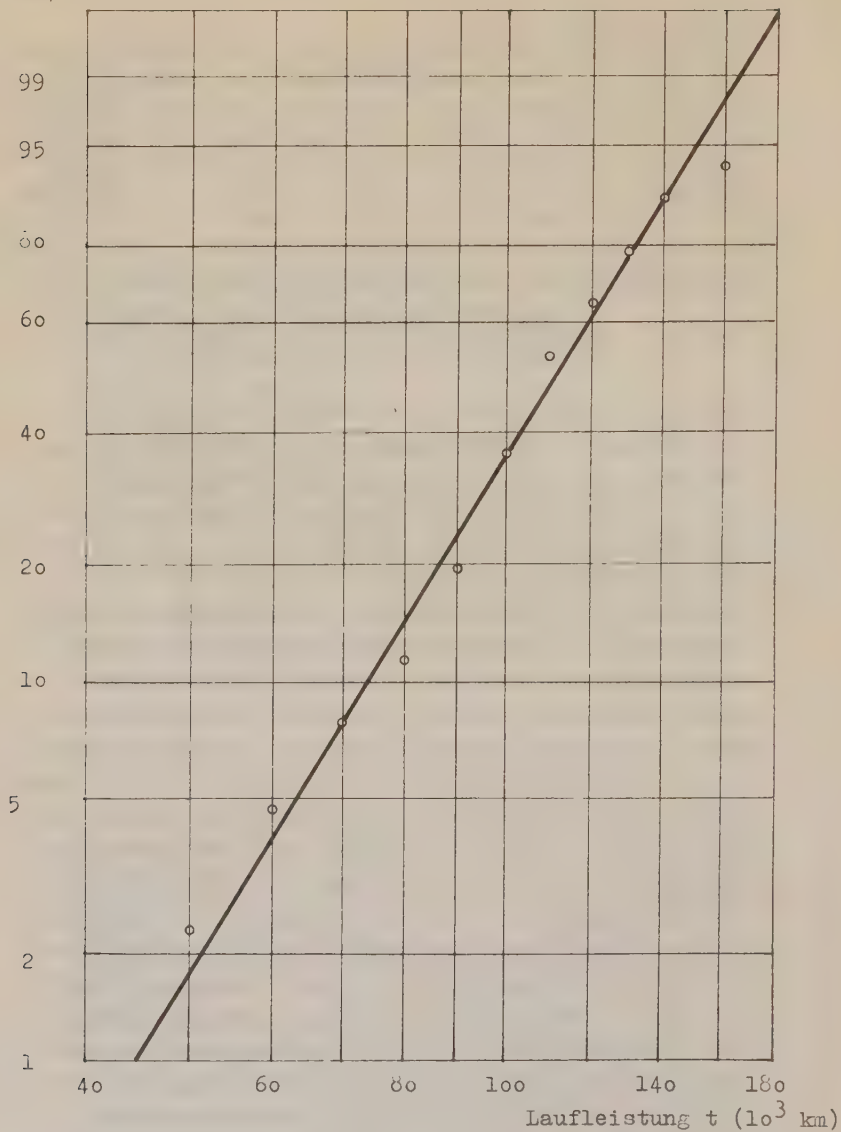


Abb. A 1 WEIBULL-Netz

Relative Summenhäufigkeit der Motorenausfälle des
Viz-Typs VW 1200 in Abhängigkeit von der Lauf-
leistung.

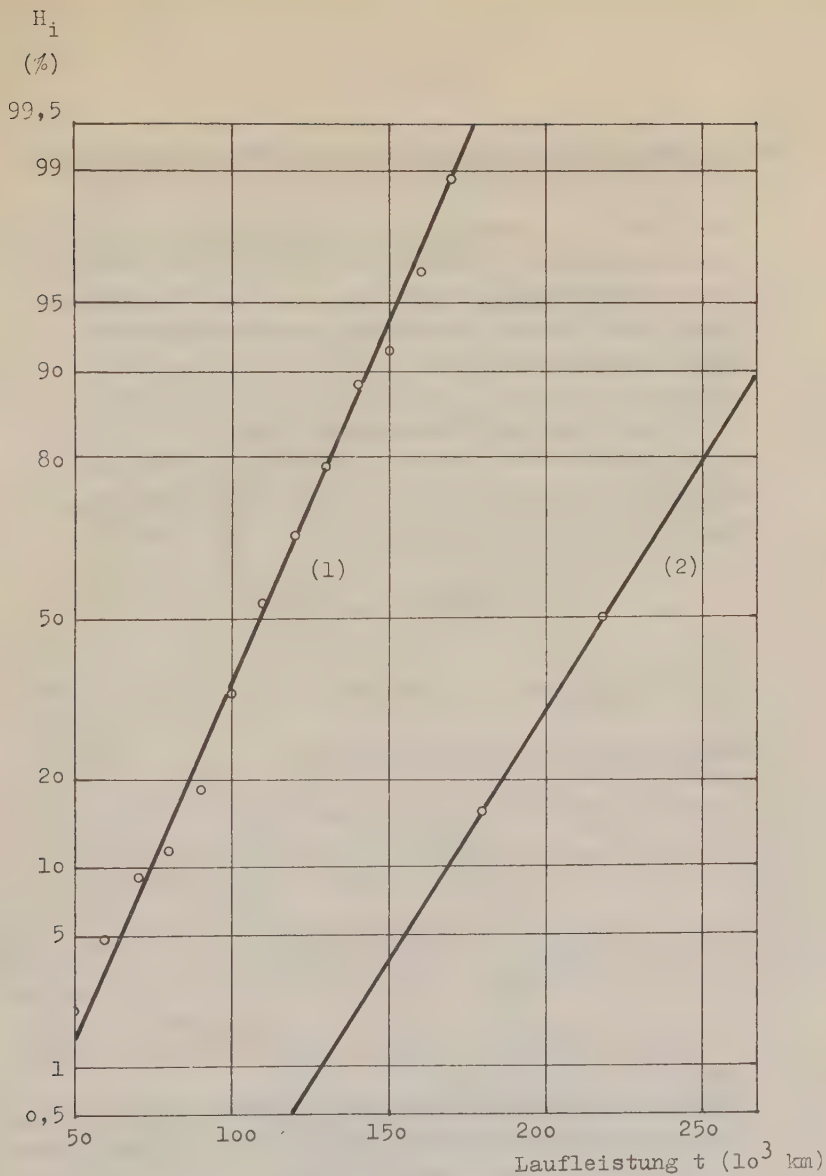


Abb. A 2 Normal-Netz

Relative Summenhäufigkeit der Motorenausfälle des Kfz-Typs VW 1200 in Abhängigkeit von der Laufleistung.

- (1) Ausfall der Ursprungskomponente
- (2) Ausfall der Ersatzkomponente

4.2 Schätzung der Zuverlässigkeitscharakteristika und Berechnung der Faltungen der Ausfallverteilungen

Aus Abb. A 2 ergeben sich die Schätzwerte für Erwartungswert und Streuung aus der Näherungsgeraden der Ursprungsausfallverteilung mit $\xi_0 = 109.500$ km und $\sigma_0 = 27.000$ km. Mit diesen Werten ergibt sich die Normalverteilung zu

$$F_0(t) = G\left(\frac{t - \xi_0}{\sigma_0}\right) = G\left(\frac{t - 109.500}{27.000}\right)$$

Aufgrund der Reproduktivität der Normalverteilung folgt für die erste Faltung:

$$F_1(t) = G\left(\frac{t - 2\xi_0}{\sigma_0 \sqrt{2}}\right) = G\left(\frac{t - 219.000}{38.200}\right)$$

Der Verlauf von $F_1(t)$ ist aus der Abb. A 2 zu ersehen.

4.3 Berechnung der Garantiefunktion

Zur Berechnung der Garantiefunktion

$$G(t) = \frac{g_0(t) R_0(t)}{R_1(t)} + g_1(t) \frac{R_1(t) - R_0(t)}{R_1(t)}$$

$$G(t) = \frac{R_0(t) - R_0(t_1)}{R_1(t)} + \frac{R_1(t) - R_1(t_1)}{R_1(t)} \frac{R_1(t) - R_0(t)}{R_1(t)}$$

sind die Werte $R_0(t)$, $R_0(t_1)$, $R_1(t)$, $R_1(t_1)$ aus der Abb. A 2 zu entnehmen.

Der Verlauf der Garantiefunktion ist in Abb. A 4 dargestellt. Gleicherorts wurden die Garantiefunktionen $g_0(t)$ und $g_1(t)$ mit eingezeichnet.

4.4 Berechnung der durchschnittlichen Ausfallwahrscheinlichkeit

4.41 Überregionale Verkaufsfunktion

In Tab. A 4 sind die Werte der überregionalen Verkaufsfunktion $V(t)$, identisch mit den relativen Häufigkeiten $h_{1,j}$ der Tab. 4, und der Werte der Garantiefunktion $G(t)$ aus Tab. A 3 für die vorhandenen diskreten Werte der Verkaufsfunktion aufgeführt. Die Werte $h_{1,j}$ wurden der Tab. 4 in zufälliger Weise entnommen, und zwar für die Typvariante "Normalausführung" und dem Verkaufsmonat Mai. Die Berechnung der durchschnittlichen Ausfallwahrscheinlichkeit q ergibt sich aus der Gleichung Gl.(21).

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Intervalle d. Laufleistg. (10^3 km)	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
Verkaufsfkt. $V(t)$ (%)	4,15	8,75	17,5	24,2	21,4	12,4	7,0	3,0	1,0	0,65
Garantiefkt. $G(t)$ (%)	0,05	0,1	0,5	1,8	3,25	4,3	3,4	2,2	2,0	3,15
q_1 (%)	0,00	0,01	0,09	0,44	0,7	0,54	0,24	0,07	0,02	0,02

Tab. A 4. Berechnung der durchschnittlichen Ausfallwahrscheinlichkeit des Motors

Die durchschnittliche Ausfallwahrscheinlichkeit für den Motor ergibt sich für die überregionale Verkaufsfunktion zu $q = \sum_1 q_1 = 2,13 \%$.

4.42 Regionale Verkaufsfunktion

Mit den Werten der regionalen Verkaufsfunktion der Abb. 4 ergibt sich analog die durchschnittliche Ausfallwahrscheinlichkeit des Motors zu $q = 1,90 \%$.

5.0 Komponente Kupplung

Mit der Wahl des Funktionselements Kupplung als zweite repräsentante Komponente wurde eine Komponente am Kfz gewählt, die einem sehr starken Verschleiß unterworfen ist. Die Lebenserwartung der Kupplung ist kleiner als die der anderen Komponenten, was die Datengewinnung erleichtert. Andererseits erfordert die Datenaussonderung für die Ausfälle der Kupplung besondere Sorgfalt. Die Kupplung ist integrierter Bestandteil des Aggregats Motor. Das heißt, daß bei einem Austausch des Motors die Kupplung zwangsläufig mit ausgetauscht wird. Weiterhin kann ein Kupplungsausfall auch als Folgeschaden des Ausfalls der Komponente Dichtring der Kurbelwelle oder der Antriebswelle auftreten. Beiden Effekten, Aggregatetausch und Folgeschaden, ist bei der Gewinnung der Ausfalldaten der Kupplung besonderer Augenmerk zu schenken.

5.1 Das Felddatenmodell

Die Auswertung der Ausfalldaten ergab folgende Variationsreihe der Beobachtungsergebnisse.

Laufleistungen der ausgefallenen Kupplungen (in 1000 km):

16, 17
24, 24, 25, 24
27, 30, 30, 26, 27, 28, 29
33, 33, 34, 35, 35, 31, 35, 31, 35
39, 36, 37, 39, 36, 39, 40
45, 43, 44, 41, 41, 41, 45, 45, 43, 41, 42, 45
47, 50, 48, 46, 48, 49, 50, 47, 50, 50, 47, 50, 50
55, 51, 55, 52, 51, 55, 54, 53, 55
60, 56, 59, 60, 59, 59, 60, 60, 57
61, 64, 62, 65, 61, 61, 65, 61, 65, 64, 62
67, 68, 66, 70, 66, 68, 67, 70
73, 75, 72, 71, 74
79, 78, 80, 80

Laufleistungen der zum Beobachtungszeitpunkt nicht ausgefallenen Kupplungen (in 1000 km):

41, 43, 45, 47, 49, 50, 52, 52, 53, 53, 54, 60, 63, 67, 70, 72, 79

Tab. A 6

Nummer der i-ten Stichprobe	1	2	3	4	5	6	7
Testzeit t_i Laufleistg. $\cdot 10^3 \text{ km}$	20	25	30	35	40	45	50
Stichproben- umfang N_i	117	117	117	117	117	115	112
Anzahl der Ausfälle r_i	2	6	13	22	29	41	54
Rel. Summenhäufig- keit H_i (%)	1,71	5,13	11,1	18,1	24,8	35,7	48,2

8	9	10	11	12	13	
55	60	65	70	75	80	
106	105	104	102	101	100	
63	72	83	91	96	100	
59,4	68,6	79,8	89,2	95,1	100	

Tab. A 7 Berechnung der relativen Summenhäufigkeit der Ausfälle der Komponente Kupplung

Die Werte (H_i ; t_i) werden in das Weibullnetz eingetragen und eine Näherungsgerade eingezeichnet (Abb. A 5). Daraus ergibt sich der Weibullanstieg b mit den Werten $z = 2$ und $\lg t = 0,58$ zu $b = 3,45$. Der Wert von b liegt in diesem Fall in dem von DUBEY angegebenen Bereich von $3,25 \leq b \leq 3,61$. Der Übergang von der Weibullverteilung zur Normalverteilung bedeutet deshalb lediglich einen maximalen Fehler von 1,05 % im 3 σ -Bereich. Der 3 σ -Bereich überdeckt den gesamten Bereich des Ausfallgeschehens der Ursprungskomponente.

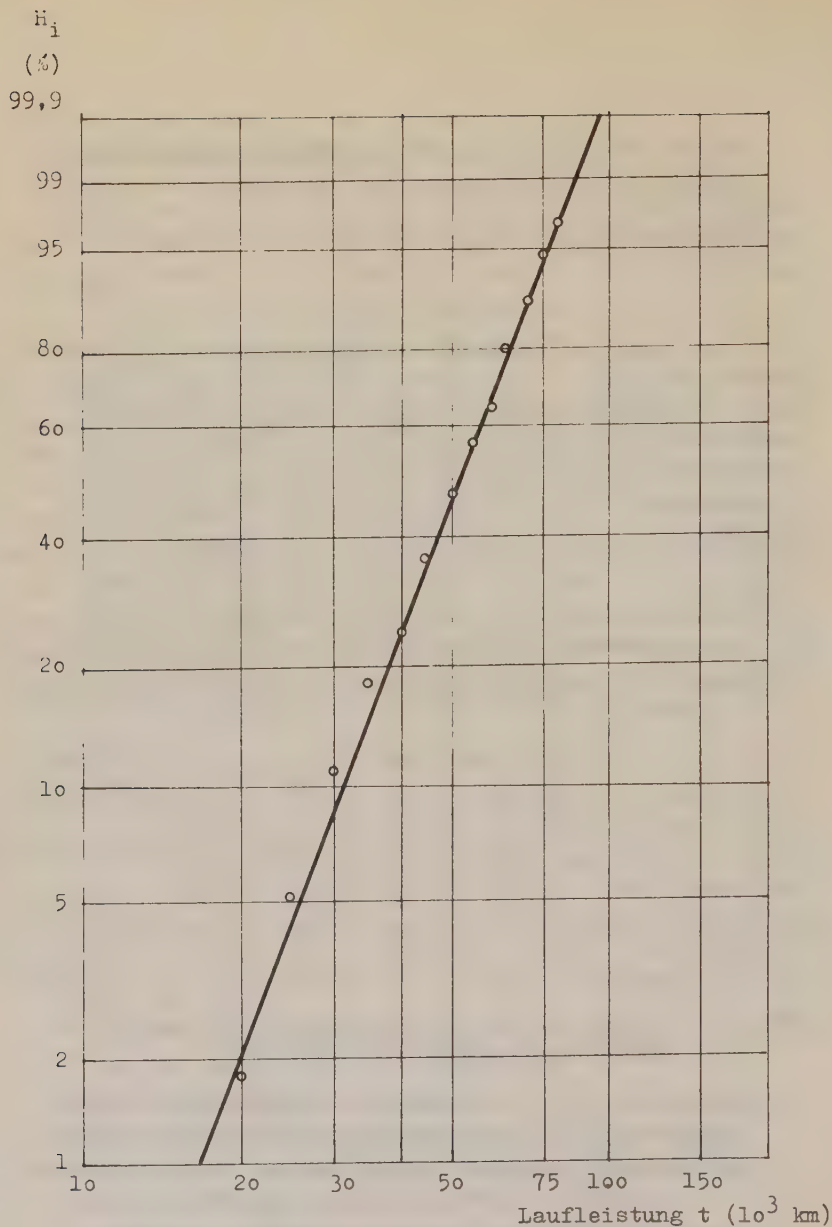


Abb. A 5 WEIBULL-Netz

Relative Summenhäufigkeit der Kupplungsausfälle des
Kfz-Typs Vw 1200 in Abhängigkeit von der Laufleistung.

H_i
(%)
99,5

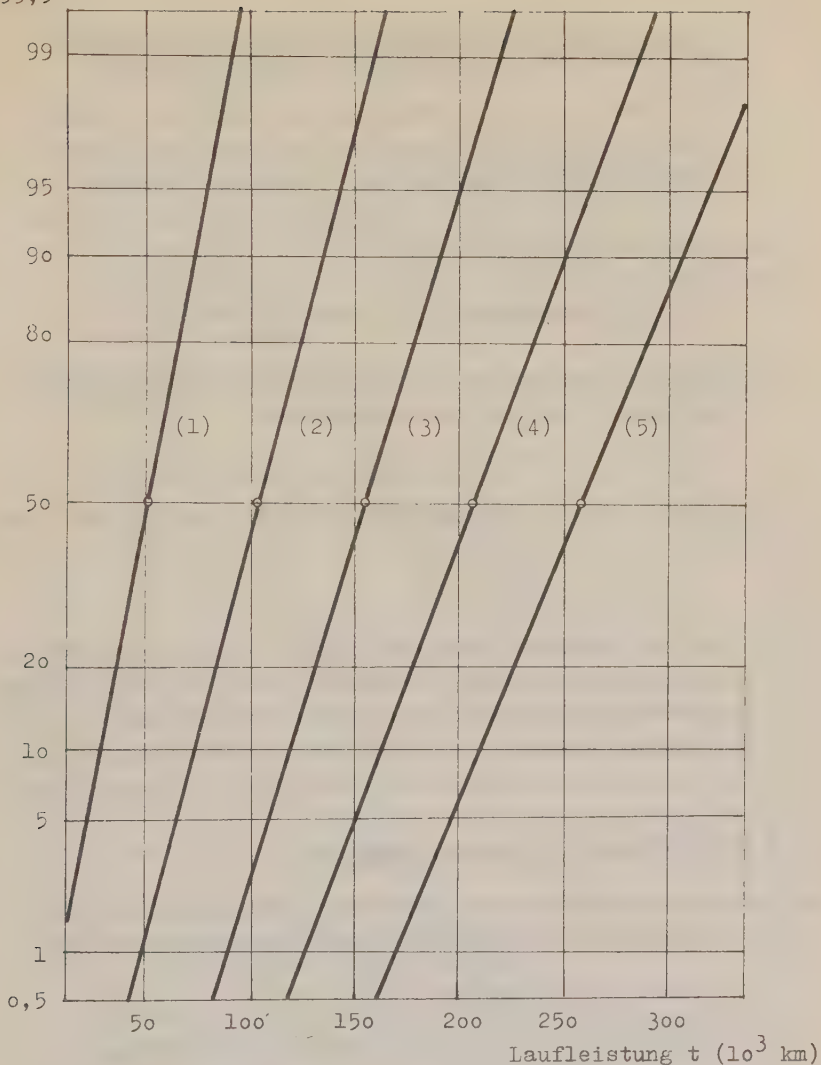


Abb. A 6 Normal-Netz

Relative Summenhäufigkeit der Kupplungsausfälle des Kfz-Typs VW 1200 in Abhängigkeit von der Laufleistung.

- (1) Ausfall der Ursprungskomponente
- (2) Ausfall der 1. Ersatzkomponente
- (3) Ausfall der 2. Ersatzkomponente
- usw

5.2 Schätzung der Zuverlässigkeitscharakteristika und Berechnung der Faltungen der Ausfallverteilung

Die Werte $(H_1; t_1)$ werden in das Normalnetz eingetragen (Abb. A 6). Daraus ergeben sich als Schätzwerte für Erwartungswert und Streuung die Werte $\{_0 = 51.500 \text{ km}$ und $\sigma_0 = 16.500 \text{ km}$. Damit ist die Verteilungsfunktion bestimmt.

$$F_0(t) = G\left(\frac{t - \{_0}{\sigma}\right) = G\left(\frac{t - 51.500}{16.500}\right)$$

Die Erwartungswerte und Streuungen der n-ten Faltung berechnen sich aus den Beziehungen

$$\{_n = \{_0 \cdot n \quad \text{und} \quad \sigma_n = \sqrt{n} \sigma_0,$$

woraus die Verteilungsfunktion der n-ten Faltung folgt

$$F_n(t) = G\left(\frac{t - n\{_0}{\sqrt{n} \sigma_0}\right)$$

Es ist notwendig, bis zur 4. Faltung fortzuschreiten, um zu gewährleisten, daß der von der Verkaufsfunktion überdeckte Bereich gleichermaßen von der Garantiefunktion überdeckt wird. Die Darstellung aller Verteilungsfunktionen ist aus der Abb. A 6 ersichtlich.

5.3 Berechnung der Garantiefunktion

Die Garantiefunktion für den vorliegenden Fall der Komponente Kupplung folgt aus der Gleichung Gl.(12).

$$G(t) = g_0(t) R_0(t) + g_1(t) (R_1(t) - R_0(t)) + \\ g_2(t) (R_2(t) - R_1(t)) + g_3(t) (R_3(t) - R_2(t)) + \\ g_4(t) (R_4(t) - R_3(t)) + \dots$$

$$G(t) = \frac{R_0(t) - R_0(t_1)}{R_0(t)} + \frac{R_1(t) - R_1(t_1)}{R_1(t)} (R_1(t) - R_0(t)) +$$

$$+ \frac{R_2(t) - R_2(t_1)}{R_2(t)} (R_2(t) - R_1(t)) + \frac{R_3(t) - R_3(t_1)}{R_3(t)} \\ (R_3(t) - R_2(t)) + \frac{R_4(t) - R_4(t_1)}{R_4(t)} (R_4(t) - R_3(t)) + \dots$$

Die Werte $R_n(t)$ und $R_n(t_1)$, für $n = 0, 1, 2, 3, 4$ sind aus der Abb. A 6 zu entnehmen. Der Verlauf der Garantiefunktion ist in Abb. A 3 dargestellt.

5.4 Berechnung der durchschnittlichen Ausfallwahrscheinlichkeit

5.41 Überregionale Verkaufsfunktion

Die Werte der Verkaufsfunktion $V(t)$ sind dieselben wie in Beispiel 1.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Laufleis- tg. (10 ⁵ km)	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
Verkaufs- fkt. (%)	4,15	8,75	17,5	24,2	21,4	12,4	7,0	3,0	1,0	0,65
Garantie- fkt. (%)	0,8	3,7	6,6	5,3	5,1	5,6	5,1	4,9	4,8	4,55
q _i (%)	0,03	0,03	1,15	1,28	1,09	0,69	0,36	0,15	0,05	0,03

Tab. A 8 Berechnung der durchschnittlichen Ausfallwahrscheinlichkeit der Kupplung

Die durchschnittliche Ausfallwahrscheinlichkeit der Kupplung für die überregionale Verkaufsfunktion ergibt sich aus Tab. A 8 zu $q = \sum_1 q_i = 4,86 \%$.

5.42 Regionale Verkaufsfunktion

Unter Berücksichtigung der Werte der regionalen Verkaufsfunktion der Abb. 5 errechnet sich die durchschnittliche Ausfallwahrscheinlichkeit der Kupplung analog zu Tab. A 8. Das Ergebnis lautet $q = 5,27 \%$.

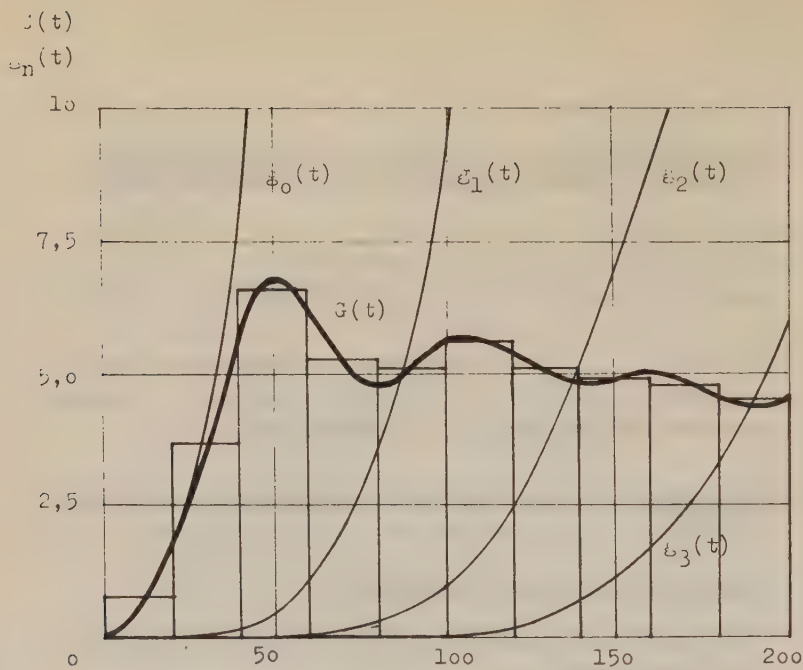


Abb. A 3 Garantiefunktion der Komponente Kupplung.

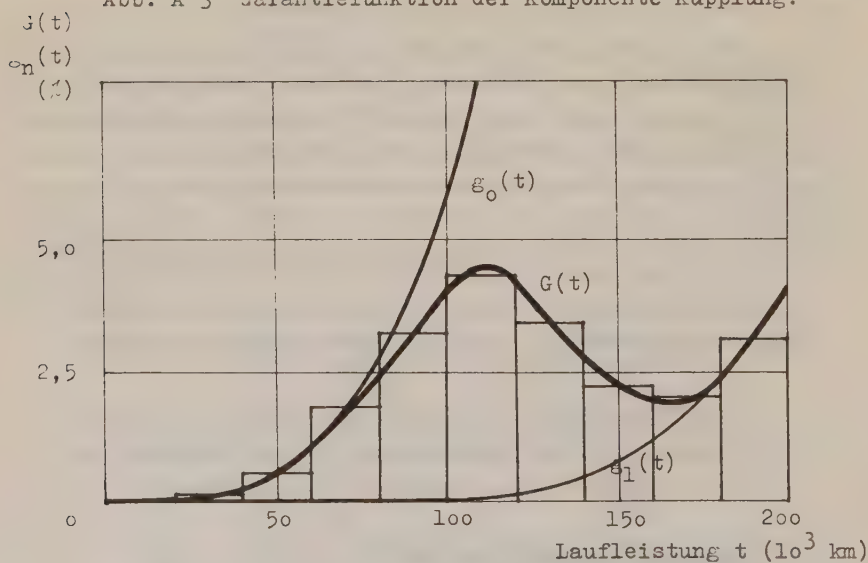


Abb. A 4 Garantiefunktion der Komponente Motor.

6.0 Die Verteilungsfunktion des Gesamtschadens

Anhand von zwei Komponenten soll nun der Rechnungsgang bis zur Risikodarstellung durchgeführt werden. Es wird das Risiko berechnet, das ein Kfz-Händler eingeht, wenn er anstelle des gesamten Kfz nur die beiden Komponenten: Motor und Kupplung in die Garantie aufnimmt. Es wird angenommen, daß $N = 300$ Kfz von dem Kfz-Handelsbetrieb im Jahr verkauft werden.

6.1 Die Schadenzahlverteilung

Zur Berechnung des Parameters P_G der Schadenzahlverteilung im Gesamtbestand werden die durchschnittlichen Ausfallwahrscheinlichkeiten für die regionale Verkaufsfunktion ($q_1 = 1,9 \%$, $q_2 = 5,27 \%$) herangezogen. Mit Gleichung Gl.(23) ergibt sich

$$P_G = N \sum q_i = 21,51.$$

6.2 Die durchschnittliche Schadensumme pro Ausfall

Mit den Instandsetzungskostenfaktoren $z_1 = 35,5$ und $z_2 = 2,82$ für die beiden Komponenten und der Gleichung Gl.(25) folgt für

$$Z = \frac{\sum q_i z_i}{\sum q_i} = 11,5$$

6.3 Die Risikoprämien

Die Nettorisikoprämie pro Kfz folgt nach Gleichung Gl. (27) zu

$$NPr = \sum q_i z_i = 0,823.$$

Wollte man zum Risikoausgleich nur die Nettorisikoprämie zugrunde legen, so müßte jedes verkaufte Kfz den Betrag von $NPr = 0,823$ zusätzlich zum Verkaufs-

preis einbringen. Der absolute Betrag errechnet sich, wie bereits erwähnt, durch Multiplikation des Instandsetzungskostenfaktors mit dem derzeitig gültigen verrechneten Lohnstundensatz.

Die Brutorisikoprämie oder die Zuschlagsätze bei angenommenen Risikogrenzen ergeben sich über die Auswertung der Gleichung Gl.(26a).

$$F(z, P_G) = \sum_{z=0}^Z \frac{P_G^{z/Z} e^{-P_G}}{(z/Z)!} = \sum_{z=0}^Z \frac{21,51^{z/11,5} e^{-21,51}}{(z/11,5)!}$$

Mit $x = z/Z$ folgt

$$F(x, P_G) = \sum_{x=0}^x \frac{21,51^x e^{-21,51}}{x!}$$

Die numerische Auswertung der Poissonverteilung läßt sich bei großem P_G bequemer über die Normalverteilung als Grenzverteilung für P_G gegen unendlich durchführen. Für eine Risikogrenze von 1 % beträgt die Brutorisikoprämie pro Kfz BPr = 1,23, was einem Sicherheitszuschlag von 50% auf die Nettorisikoprämie entspricht.

7.0 Diskussion der Ergebnisse der Beispiele

Die durchschnittlichen Ausfallwahrscheinlichkeiten der Komponenten Motor und Kupplung sind auf der Grundlage von Ausfalldaten und Verkaufsdaten berechnet worden. Die Aussagefähigkeit der Ergebnisse ist somit abhängig von der Güte der zur Verfügung stehenden Datenmassen und der Konformität ihrer Erhebungsgebiete.

Auf die Herkunft, den Umfang und die Güte der Daten wurde bereits andererseits eingegangen. An dieser Stelle sei nur noch darauf hingewiesen, daß von den Ausfallverteilungen wie sie sich in den Abb. A 1 und Abb. A 4 darstellen, keine Ansprüche abzuleiten sind derart, daß es sich hierbei um die Ausfallverteilungen des Motors und der Kupplung des VW 1200 schlechthin

handelt. Vielmehr beschreiben die Ausfallverteilungen lediglich das Ausfallgeschehen derjenigen Kfz, von denen die Daten stammen. Ein Schluß auf eine allgemeingültige Ausfallverteilung ist mit den vorliegenden Daten unmöglich, denn erfahrungsgemäß ist die Lebensdauer von Kfz-Teilen abhängig von den regionalen Gegebenheiten. Gebirge, Küstengebiete, Stadtgebiete und Landgebiete haben jeweils einen spezifischen Einfluß auf die Lebensdauer der Komponenten. Es ist nicht das Anliegen dieser Arbeit, eine absolute Ausfallverteilung der Kfz-Komponenten aufzustellen, um daraus eine allgemeingültige Risikoberechnung abzuleiten, die z.B. eine Allgemeingültigkeit hat für das gesamte Gebiet der BRD, sondern es soll in der praktischen Anwendung des theoretisch aufgezeigten Wegs nur die Risikosituation eines einzelnen Kfz-Handelsbetriebes betrachtet werden.

Bei der Berechnung eines solchen Einzelrisikos, d.h. eines gebietsmäßig punktuellen Risikos, ist die Konformität der Erhebungsgebiete der Daten dann gegeben, wenn beide Datenkomponenten aus demselben betrachteten Gebiet stammen. Die Ausfalldaten und die Verkaufsdaten müssen aus dem Einflußgebiet des betrachteten Kfz-Betriebs gewonnen werden. Im Falle der Beispiele ist, wie aus den Angaben über die Datenquellen zu entnehmen ist, die Konformität der Erhebungsgebiete nicht vollständig gegeben. Der regionalen Verkaufsfunktion stehen Ausfalldaten aus 3 verschiedenen Quellen entgegen, von denen sich 2 nicht mit dem Erhebungsgebiet der Verkaufsfunktion decken. Die Verwendung der überregionalen Verkaufsfunktion steht der Konformität stark entgegen. Doch ist ihre Aussagekraft aufgrund der großen Datenmengen nicht von der Hand zu weisen. Wie die Ergebnisse überdies zeigen, sind die Differenzen der durchschnittlichen Ausfallwahrscheinlichkeiten für dieselbe Komponente, unter Berücksichtigung der regionalen und überregionalen Verkaufsfunktion, nicht groß.

Der Verlauf der Garantiefunktion der Komponente Motor ist geprägt von der einmaligen Erneuerungsaktion. Betrachtet man die Ausfallwahrscheinlichkeit der Ursprungskomponente allein, also ohne Erneuerung, so ist ihr Verlauf durch die Funktion $g_0(t)$ bestimmt. Die Ausfallwahrscheinlichkeit der Ersatzkomponente ist mit $g_1(t)$ gegeben. Erwartungsgemäß wird $G(t)$ von beiden Teilfunktionen, $g_0(t)$ und $g_1(t)$ begrenzt. Für geringe Laufleistungen decken sich $g_0(t)$ und $G(t)$. Der Erneuerungseffekt ist noch vernachlässigbar. Die Abkehr der Garantiefunktion $G(t)$ von $g_0(t)$ und das Absinken nach einem Maximum zeigt den zunehmenden Einfluß der Ersatzkomponente. Mit steigender Laufleistung geht $G(t)$ in $g_1(t)$ über, weil vereinbarungsgemäß keine zweite Erneuerung durchgeführt werden soll.

Der Verlauf der Garantiefunktion der Kupplung wird durch eine Art Schwingung charakterisiert. Der Anstieg wird wieder durch die bedingte Ausfallwahrscheinlichkeit der Ursprungskomponente $g_0(t)$ bestimmt. Durch die Prämisse, ausgefallene Komponenten fortgesetzt zu erneuern, erfolgt im Verlauf der Garantiefunktion kein endgültiger Anstieg wie im Falle des Motors, sondern die Ausfallwahrscheinlichkeiten pendeln um einen bestimmten Wert.

Die Berechnung der Risikosituation der Komponenten Motor und Kupplung gibt aufgrund der verkaufspolitischen Bedeutung beider Komponenten ein aussagefähiges Ergebnis. Die Instandsetzung beider Komponenten ist mit verhältnismäßig großen Kosten verbunden, so daß ihr Ausfall einen Risikofond stark in Anspruch nehmen können.

Die Nettorisikoprämie von $NPr = 0,823$ ist die nach dem Äquivalenzprinzip ermittelte Prämie. Bei einer Sicherheitswahrscheinlichkeit von 99 %, d.h. daß die

Belastung des Kfz-Händlers mit einer Wahrscheinlichkeit von 99 % die Bruttorisikoprämie $BPr_{99\%}$ nicht übersteigt, liegt mit $BPr_{99\%} = 1,23$ um etwa 50 % über der Nettorisikoprämie. Eine solche Prämienbelastung zusätzlich auf den Verkaufspreis der Kfz ist absatzpolitisch durchaus zu rechtfertigen und zu realisieren.

Literaturverzeichnis

AMMETER, H., Die Elemente der kollektiven Risikotheorie von festen und zufallsartig schwankenden Grundwahrscheinlichkeiten, Mitteilungen des Vereins Schweizer Versicherungsmathematiker, (MSV) 1949.

BAUER, H., Wahrscheinlichkeitstheorie und Grundzüge der Maßtheorie, Berlin 1968.

BURKERT, G., Der technische Kraftfahrzeugdienst bei der deutschen Bundespost, Goslar 1963.

COX, D.R., Erneuerungstheorie, München, Wien 1966.

DAVIS, D.J., An Analysis of some Failure Data, American Statistical Association Journal, vol. 47, (1952).

DUBEY, S.D., Normal and Weibull Distributions, Naval Research Logistics Quarterly, H.1 (1967).

ETZRODT, A., Technische Zuverlässigkeit - ein Überblick, Technische Zuverlässigkeit in Einzeldarstellung, H.1 (1964).

GNEDENKO, B.W., BELJAJEW, J.K. und SOLOWJEW, A.D., Mathematische Methoden der Zuverlässigkeitstheorie, Berlin 1968, Bd.1 und Bd. 2.

HAUSMANN, W.H., KAMINS, M., The Reliability of New Automobile Parts, Annals of Reliability and Maintainability, vol.4 (1965).

HEINHOLD, J., GAEDE, K.W., Ingenieurstatistik, München, Wien 1964.

KRESS, H., Untersuchungen zur Bestimmung der optimalen Organisation von Instandhaltungsarbeiten an Fertigungsmaschinen bei Werkstättenfertigung anhand eines Simulationsmodells, Diss., T.H. München, 1968.

MANN, N.R., Point and Intervall Estimating Procedures for the Two-Parameter Weibull and Extrem-Value Distributions, Technometrics, vol.10 (1968).

MÜLLER, R., Gauß oder Weibull- zur Statistik der Walzfestigkeit, Forschungsbericht 433 der Volkswagenwerk AG, (unveröffentlicht).

NIESCHLAG, R., DICHTL, E., HÖRSCHGEN, H., Einführung in die Lehre von der Absatzwirtschaft, Berlin 1968.

O.V., Total Car Warranty Prediction Method, SAE-paper 660061.

O.V., Reliability Evaluation of Transmission Gears, Allision research and engeneering, vol.12 (1966).

O.V., Schlüsselproblem Gebrauchtwagen, Krafthand, H.22 (1968).

REDMOND, G.H. and WEBSTER, F.M., Chrysler's 5 and 50 Warranty Program, SAE-paper 660059.

SCHREIBER, H.H., Zur mathematisch-statistischen Auswertung von Lebensdauerversuchen mit Wälzlagern, Qualitätskontrolle, H.8 (1963).

SIMPSON, B.H., The Ford Engineering Reliability Program, Annals of Reliability and Maintainability, vol.4 (1965).

SIMPSON, B.H., Reliability Prediction from Warranty Data, SAE-paper 660060.

TAYLOR, J.R., LOCHNER, R.H., Statistical Analysis of Failure Data, Annals of Reliability and Maintainability, vol.4 (1965).

WEIBULL, W., A statistical theory of the strength of materials, Ing. Vetenskaps Akad. Handl.,151 (1939).

WEIBULL, W., A statistical distribution of wide applicability, Jour. Appl. Mech., 18 (1951).

WYSS, H., Die Risikotheorie und ihre Bedeutung für die Versicherungsmathematik, Mitteilungen des Vereins Schweizer Versicherungsmathematiker, (VSM) 1953.

Lebenslauf

Am 12.9.1940 wurde ich in Stuttgart als Sohn des Georg Kommer, Bankvorstand, und dessen Ehefrau Liselotte, geborene Stegmaier, geboren. Mein Vater ist im 2. Weltkrieg in Stalingrad gefallen. Am 8.11.1960 wurde ich von meinem Stiefvater, Erich Wohlfarth, Kaufmann, adoptiert und übernahm dessen Namen.

Von 1947 bis 1960 besuchte ich in Esslingen die Grundschule und das Schelztorgymnasium. Die Reifeprüfung legte ich im Frühjahr 1960 ab. Nach einem halbjährigen Praktikum immatrikulierte ich mich an der Technischen Hochschule Stuttgart zum Studium der Fachrichtung Maschinenbau und schloß im August 1965 als Diplomingenieur ab. Daran anschließend belegte ich an der Technischen Hochschule München das Arbeits- und Wirtschaftswissenschaftliche Aufbaustudium. Im Mai 1968 beendete ich das Zweitstudium mit der Diplomprüfung als Diplomwirtschaftsingenieur.

Seit dem Sommersemester 1968 promoviere ich an der Staatswirtschaftlichen Fakultät der Universität München.

Dieter Wohlfarth

